

CARATERIZAÇÃO ACÚSTICA DE PAVIMENTOS EM MADEIRA NA PERSPETIVA DA REABILITAÇÃO URBANA

ARTUR JORGE SOARES DE SOUSA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Rui Manuel Gonçalves Calejo Rodrigues

Coorientador: Engenheira Dóris Mafalda Dias Queirós

JUNHO DE 2016

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2015/2016

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2015/2016 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2016*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Pais, ao meu Irmão e à Ana

Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.

Madre Teresa de Calcutá

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Rui Calejo Rodrigues por todo o incentivo, por todo o apoio, e essencialmente por toda a orientação e aconselhamento que tornaram este trabalho possível, ao gosto do autor e segundo os temas que dominam as páginas dos tempos hodiernos.

Agradeço ainda à Engenheira Dóris Queirós pelo apoio incansável enquanto coorientadora, por todo o acompanhamento e auxílio durante todas as fases do trabalho, com maior foco para os ensaios *in situ* e sobretudo laboratoriais. Um obrigado também por toda a disponibilidade e aconselhamento na revisão.

A todas as pessoas, proprietários e habitantes das frações que, simpaticamente e carinhosamente, me abriram a porta de suas casas para a realização de ensaios acústicos *in situ*, constituindo uma mais valia para o desenvolvimento da presente tese de mestrado, agradeço a atenção e tempo disponibilizados.

À Flex2000 – Produtos Flexíveis, S.A, na pessoa do engenheiro Jorge Gonçalves, agradeço a oferta do material que durante a realização dos ensaios laboratoriais foi utilizado como apoio resiliente. Por toda a prontidão e disponibilidade, o meu obrigado.

À Ana Rodrigues agradeço ainda, não só o apoio na revisão de partes do trabalho, mas também a paciência, carinho, disponibilidade, ânimo e entusiasmo, sem esquecer a companhia sempre presente.

Aos meus pais, irmão e restante família que esteve presente durante esta fase da minha vida, o meu obrigado por terem tornado a minha formação académica possível, por terem acompanhado a transformação deste sonho em realidade.

RESUMO

A função habitar requer cada vez mais isolamentos certificados que garantam a qualidade dessa mesma função para quem a pratica. A sociedade está a mudar, está alerta para os problemas que afetam a saúde pública e é a cada dia mais exigente com questões de conforto, bem-estar e comodidade.

Por outro lado, surge a reabilitação urbana, tema que domina a ordem do dia. Revolucionadora atual dos centros históricos das grandes cidades, parece ramificar-se a um crescimento significativo pelos diversos aglomerados populacionais envolventes. No entanto, a legislação onde apoia a reabilitação, assim como os estudos e a investigação que a acompanham, não assistem a um crescimento e investimento proporcional. Existe nos tempos hodiernos carência de informação sólida e credível acerca dos métodos construtivos encontrados no património edificado, agora sujeito a ações de renovação estrutural. Uma vez que a reabilitação é essencial para a continuidade deste património, que constitui a riqueza de um país e a vitalidade de inúmeros centros urbanos, reconhece-se a importância e a necessidade de trabalhos como o aqui apresentado.

Assim sendo, procurou-se caracterizar acusticamente os pavimentos em madeira encontrados em edifícios que apresentam necessidade de reabilitação, nomeadamente edifícios de finais do século XVIII e início do século XIX, no sentido de perceber até que ponto estes pavimentos, através de pequenas modificações quando necessário, conseguem corresponder às necessidades e exigências quer da legislação, quer da sociedade atual. O reaproveitamento deste tipo de pavimentos contribuirá sem dúvida para a diminuição dos resíduos provenientes da reabilitação urbana, bem como para um aumento da sustentabilidade associada a estas intervenções da engenharia civil.

Neste sentido, realizaram-se ensaios *in situ* seguindo as normas NP EN ISO disponíveis, de caraterização do isolamento sonoro a sons de condução aérea e a sons de percussão de pavimentos em madeira. Com o objetivo de validar os resultados provenientes de modelos de previsão do comportamento acústico de elementos de compartimentação horizontal, bem como obter meio de comparação para com os resultados provenientes dos ensaios *in situ*, realizaram-se ensaios laboratoriais nas câmaras reverberantes do Laboratório de Acústica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, utilizando para tal uma reconstituição de um pavimento que se tentou o mais próxima possível daqueles que se encontram nos edificados sujeitos a reabilitação.

Os resultados foram conclusivos e revolucionadores, surpreendendo o próprio autor, como se comprova no capítulo 7, *Estudo de Resultados e Conclusões*. Consegue-se assim refletir alguns pensamentos acerca da reabilitação contemporânea dos pavimentos em madeira que, maioritariamente e erradamente, são substituídos por lajes aligeiradas ou maciças de betão armado. Deixa-se um pequeno espaço, através das conclusões retiradas, para algumas recomendações na reabilitação de pavimentos em madeira, bem como certas sugestões para desenvolvimentos futuros, necessários e interessantes, na área de estudo envolvente.

PALAVRAS-CHAVE: Acústica, Reabilitação, Pavimentos, Madeira, Isolamento sonoro, Ensaios *In Situ*, Ensaios Laboratoriais, Modelos Teóricos de Previsão Comportamental.

ABSTRACT

The living function has been requiring more certificated isolation which guarantees the quality of that function to those who practice it. The society is changing, is aware for the problems that affect public health and it is increasingly demanding with issues of comfort and well-being.

On the other hand, borns urban rehabilitation, theme that dominates the agenda. Current revolutionising the historic centres seems to branch out to a significant growth for the various population agglomeration. However, the legislation that supports the rehabilitation, as well as studies and researches, don't see a growth and proportional investment. Nowadays there is a missing for solid and credible information about the construction methods found on the edification patrimony, now subjected to structural subjection actions. Once that rehabilitation is essential for the keep of this heritage, which is wealth of a country and the vitality of numerous urban centres, it recognises the importance and the need to work as shown here.

Thus, we tried to acoustically characterise the wood floors found on buildings that need rehabilitation, such as buildout from the late eighteenth century and early nineteenth century, to realise to which point this pavements, through small modifications, when required, can correspond to the needs and demands from legislation and from the actual society. The reuse of this type of pavements will contribute, no doubt, for the reduction of residues coming from urban rehabilitation, as well as for an increasing of sustainability associated to this interventions of civil engineering.

On this way, there were made trials in sito following the laws NP EN ISO available, of characterisation of sound isolation to air condition sounds and wood floor percussion sounds. With the goal to validate the results from provision models of acoustic behave, from horizontal partition elements as well as getting comparison terms for the results from trials in sito, there were made laboratory test in reverberate chambers Acoustics Laboraty Faculdade Engenharia Universidade do Porto, using for that a reconstitution of a pavement, as more similar as possible with those who are found on the buildings subject to rehabilitation.

The results were conclusive and revolutionaries, surpring the author as can be seen in chapter seven, *Study Results and Conclusions*. We can now reflect up some thoughts about contemporary rehabilitation of hardwood flooring that mostly wrong and are replaced by lightened or solid slabs of reinforced concrete. Let a small space by the conclusions reached for some recommendations on the rehabilitation of hardwood flooring, as well as some suggestions for future necessary and interesting developments in the surrounding area of study.

KEYWORDS: Acoustic, Rehabilitation, Flooring, Wood, Sound Insulation, In Situ Testing, Laboratory Tests, Theoretical Models of Behavioural Forecast.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. PREÂMBULO	1
1.2. PROBLEMÁTICA	2
1.3. OBJETIVOS	4
1.4. METODOLOGIA	5
1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	6
2. ACÚSTICA: UM PRESENTE EM ANÁLISE EVOLUTIVA	7
2.1. INTRODUÇÃO	7
2.2. A EVOLUÇÃO	7
2.2.1. A HISTÓRIA DA ACÚSTICA	7
2.2.2. SOM	8
2.2.3. PROPRIEDADES ACÚSTICAS RELEVANTES	9
2.2.3.1. Nível de Pressão Sonora	9
2.2.3.2. Absorção Sonora	9
2.2.3.3. Tempo de Reverberação	11
2.2.3.4. Modelos de Ruído	12
2.2.3.5. Transmissão Sonora	12
2.2.3.6. Índices de Isolamento Sonoro	14
2.2.3.7. Métodos de Medição e Métodos de Estimação	16
2.3. OS PAVIMENTOS - REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA	17
2.4. LEGISLAÇÃO	22
2.4.1. PERSPETIVA EVOLUTIVA	22
2.4.2. REGULAMENTO DOS REQUISITOS ACÚSTICOS DOS EDIFÍCIOS (RRAE)	25
3. PARQUE EDIFICADO OBJETO DE ESTUDO	27
3.1. INTRODUÇÃO	27

3.2. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS	27
3.2.1. PAREDES EXTERIORES.....	27
3.2.2. PAREDES INTERIORES.....	28
3.2.3. COBERTURA	29
3.2.4. CLARABOIAS.....	30
3.2.5. VÃOS ENVIDRAÇADOS.....	30
3.2.6. PORTAS	31
3.3. PAVIMENTOS: ELEMENTO EM ESTUDO	32
3.3.1. MADEIRA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO.....	32
3.3.2. TIPOS DE MADEIRA UTILIZADOS EM PAVIMENTOS	33
3.3.3. CONSTITUIÇÃO DOS PAVIMENTOS EM MADEIRA	33
3.3.3.1. Vigamento.....	34
3.3.3.2. Tarugamento	35
3.3.3.3. Cadeias.....	36
3.3.3.4. Soalhos.....	37
3.3.3.5. Tetos.....	38
3.3.4. PAVIMENTOS EM MADEIRA E A RELAÇÃO HISTÓRICA COM A ACÚSTICA.....	39
 4. DESCRIÇÃO NORMATIVA E DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL	 41
4.1. INTRODUÇÃO	41
4.2. LOCALIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS	41
4.3. MEDIÇÕES <i>IN SITU</i>	42
4.3.1. GENERALIDADES.....	42
4.3.1.1. Sons Aéreos	43
4.3.1.2. Sons de Percussão	43
4.3.2. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS.....	44
4.3.3. EDIFÍCIO RUA DO PARAÍSO DA FOZ	46
4.3.4. EDIFÍCIO RUA DA NORA.....	47
4.3.5. EDIFÍCIO FERREIRA DA CUNHA	50
4.3.6. EDIFÍCIO RUA 31 DE JANEIRO	52
4.3.7. EDIFÍCIO BRINTÂMEGA	53
4.3.8. EDIFÍCIO QUEIRÓS	55

4.3.9. EDIFÍCIO LEMOS	58
4.3.10. REFERÊNCIA IDENTIFICATIVA DOS PAVIMENTOS ENSAIADOS ACUSTICAMENTE	59

5. CÁLCULOS TEÓRICOS APLICADOS AOS ENSAIOS *IN SITU* E MODELOS DE PREVISÃO DO COMPORTAMENTO ACÚSTICO

5.1. INTRODUÇÃO	61
5.2. MEDIÇÕES <i>IN SITU</i> – DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES DE ISOLAMENTO SONORO	61
5.2.1. ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO A SONS DE CONDUÇÃO AÉREA	62
5.2.1.1. Nível Médio de Pressão Sonora	62
5.2.1.2. Correção Devido ao Ruído de Fundo	62
5.2.1.3. Tempo de Reverberação	63
5.2.1.4. Isolamento Sonoro Bruto	64
5.2.1.5. Isolamento Sonoro Padronizado	64
5.2.1.6. Isolamento Sonoro Padronizado Médio	65
5.2.1.7. Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea	66
5.2.2. ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO A SONS DE PERCUSSÃO	67
5.2.2.1. Nível Médio de Pressão Sonora	67
5.2.2.2. Correção Devido ao Ruído de Fundo	67
5.2.2.3. Tempo de Reverberação	68
5.2.2.4. Isolamento Sonoro Bruto	68
5.2.2.5. Isolamento Sonoro Padronizado	68
5.2.2.6. Isolamento Sonoro Padronizado Médio	69
5.2.1.7. Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Percussão	69
5.2.3. SÍNTESE DE RESULTADOS	71
5.3. MODELOS DE PREVISÃO TEÓRICOS UTILIZADOS PARA COMPARAÇÃO DE RESULTADOS	75
5.3.1. ELEMENTOS SIMPLES	75
5.3.2. ELEMENTOS DUPLOS	78
5.3.3. MÉTODO DE SHARP	80
5.3.3.1. Elementos Simples	81
5.3.3.2. Elementos Duplos	82
5.3.4. MÉTODO DE CREMER	84
5.3.5. MODO DE ABORDAGEM DOS MODELOS DE CÁLCULO	84

5.3.6. VARIÁVEIS ASSOCIADAS AOS PAVIMENTOS EM MADEIRA	84
5.3.7. MEIO DE COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS.....	85
5.3.7.1. Sons Aéreos	85
5.3.7.2. Sons de Percussão	86
6. ENSAIOS LABORATORIAIS	89
6.1. INTRODUÇÃO	89
6.2. INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS.....	89
6.2.1. CÂMARAS REVERBERANTES	89
6.2.2. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS.....	91
6.2.3. EXIGÊNCIAS LEGISLATIVAS	91
6.2.3.1. Sons Aéreos	92
6.2.3.2. Sons de Percussão	92
6.2.3.3. Equipamentos para os Ensaios.....	93
6.3. ELEMENTO DE COMPARTIMENTAÇÃO HORIZONTAL PARA ENSAIO.....	93
6.4. VARIANTES DE PAVIMENTOS EM MADEIRA ENSAIADAS	97
6.5. METODOLOGIA E LEGISLAÇÃO	106
6.5.1. GENERALIDADES.....	106
6.5.2. SONS AÉREOS.....	107
6.5.3. SONS DE PERCUSSÃO.....	108
6.6. RESULTADOS	109
6.6.1. ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA A SONS DE CONDUÇÃO AÉREA.....	109
6.6.1.1. Nível Médio de Pressão Sonora.....	109
6.6.1.2. Correção Devido ao Ruído de Fundo.....	109
6.6.1.3. Tempo de Reverberação.....	110
6.6.1.4. Área de Absorção Sonora Equivalente	110
6.6.1.5. Redução Sonora a Sons Aéreos	110
6.6.1.6. Redução Sonora Média.....	110
6.6.1.7. Índice de Redução Sonora a Sons de Condução Aérea	111
6.6.2. ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA A SONS DE PERCUSSÃO.....	111
6.6.2.1. Nível Médio de Pressão Sonora.....	111
6.6.2.2. Correção Devido ao Ruído de Fundo.....	111
6.6.2.3. Tempo de Reverberação.....	111

6.6.2.4. Área de Absorção Sonora Equivalente	112
6.6.2.5. Isolamento Sonoro a Sons de Percussão	112
6.6.2.6. Isolamento Sonoro Padronizado Médio	112
6.6.2.7. Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Percussão	113
6.6.3. SÍNTESE DE RESULTADOS	113
6.6.4. MEIO DE COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS.....	116

7. ESTUDO DE RESULTADOS E CONCLUSÕES	119
7.1. INTRODUÇÃO	119
7.2. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS <i>IN SITU</i>.....	119
7.3. COMPARAÇÃO DOS DADOS RECOLHIDOS <i>IN SITU</i> COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR.....	123
7.4. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS LABORATORIAIS E RECOMENDAÇÕES CONSTRUTIVAS.....	130
7.5. COMPARAÇÃO DOS DADOS RECOLHIDOS EM LABORATÓRIO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR	136
7.6. COMPARAÇÃO DOS DADOS RECOLHIDOS EM LABORATÓRIO, <i>IN SITU</i> E ATRAVÉS DE MODELAÇÃO TEÓRICA	138
7.7. PRINCIPAIS CONCLUSÕES.....	146
7.8. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	147

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 – Áreas da Acústica e a sua Inter-Relação [3]	8
Figura 2. 2 - Propagação de Onda Sonora no Ar [4]	8
Figura 2. 3 - Tubo de ondas estacionárias e operador no seu manuseamento	10
Figura 2. 4 - Definição do Tempo de Reverberação RT60 (valor teórico em A e obtido por extrapolação do declive em B). [7].....	12
Figura 2. 5 - Modelo de ruído branco e rosa (esquerda e direita, respetivamente), em escala linear ..	12
Figura 2. 7 - Esquema representativo da transmissão sonora de sons aéreos e de sons de percussão [8].....	13
Figura 2. 8 - Transmissão sonora entre compartimentos in situ	13
Figura 2. 9 - Medição de nível de pressão sonora na proximidade de fonte de ruído (equipamentos em edifícios) [28]	15
Figura 2. 10 - Caracterização do isolamento sonoro (perda de transmissão) em função da frequência [29].....	16
Figura 2. 11 - Cronologia da revisão da bibliografia analisada	18
Figura 2. 12 - Ilustração esquemática da evolução da regulamentação Portuguesa nos últimos 29 anos [adaptado [26]].....	24
Figura 3. 1 - Representação de edifícios em banda com paredes de fachada em alvenaria de pedra	28
Figura 3. 2 - Parede em tabique simples	29
Figura 3. 3 - Asna complexa [43]	30
Figura 3. 4 - Travamento longitudinal em madeira [adaptado 44]	30
Figura 3. 5 - Vãos envidraçados e portas típicas dos edifícios em estudo.....	31
Figura 3. 6 - Vigas de madeira em secção retangular (esquerda) e toros de madeira (direita) [45]	34
Figura 3. 7 - Extremidade de um toro com tratamento preventivo (Costa et al., 2007) [11].....	35
Figura 3. 8 - Elementos metálicos de ligação exterior ou em "esquadro" (Segurado, 1942) [11]	35
Figura 3. 9 - Esquema de tarugamento entalonado (Costa, 1955) [11].....	36
Figura 3. 10 - Esquema de uma cadeia (Costa, 1955) [11]	37
Figura 3. 11 - Ligação macho-fêmea (esquerda) e meio-fio (direita) [11].....	37
Figura 3. 12 - Teto estucado e ornamentado (esquerda) e moldura em estuque (direita) [46 e 47]	38
Figura 3. 13 - Réguas de madeira sob o soalho (esquerda) e camada de areia fina sob o teto (direita) [11].....	39
Figura 4. 1 - Localização geográfica dos edifícios utilizados para ensaio acústico dos pavimentos em madeira [com recurso ao Google Maps]	42
Figura 4. 2 – Máquina de percussão (esquerda) e sonómetro (direita)	45

Figura 4. 3 - Fonte sonora utilizada	45
Figura 4. 4 – Edifício em estudo (esquerda) e pormenor do edifício em estudo (janela em guilhotina, direita).....	46
Figura 4. 5 - Compartimento emissor à esquerda e compartimento recetor à direita	47
Figura 4. 6 - Edifício Rua da Nora.....	47
Figura 4. 7 - Plana do edifício em causa com compartimentos emissores (esquerda) e compartimentos recetores (direita)	48
Figura 4. 8 - Compartimento 1, emissor (esquerda) e compartimento A, recetor (direita)	49
Figura 4. 9 - Compartimento 2, emissor (esquerda) e compartimento A, recetor (direita)	49
Figura 4. 10 - Compartimento 3, emissor (esquerda) e compartimento B, recetor (direita)	50
Figura 4. 11 – Compartimento 4, emissor (esquerda) e compartimento C, recetor (direita)	50
Figura 4. 12 - Edifício Ferreira da cunha (ao centro)	51
Figura 4. 13 - Compartimento emissor (esquerda) e compartimento recetor (direita).....	52
Figura 4. 14 - Edifício Rua 31 de Janeiro.....	52
Figura 4. 15 - Compartimento emissor (esquerda) e compartimento recetor (direita).....	53
Figura 4. 16 - Edifício Brintâmega.....	54
Figura 4. 17 - Compartimento emissor (esquerda) e compartimento recetor (direita).....	55
Figura 4. 18 - Edifício Queirós (esquerda, edifício com porta e janelas verdes) e vista da cobertura do edifício (direita)	56
Figura 4. 19 - Pormenor da intervenção nas paredes de tabique, com reaproveitamento das mesmas	57
Figura 4. 20 - Intervenção nos pavimentos, vigas e tarugos originais, soalho novo	57
Figura 4. 21 - Compartimento emissor (esquerda) e compartimento recetor (direita).....	58
Figura 4. 22 - Edifício Lemos	58
Figura 4. 23 - Compartimento emissor (esquerda) e compartimento recetor (direita).....	59
Figura 5. 1 - Representação gráfica da CR e do isolamento sonoro padronizado a sons de condução aérea por banda de frequência	67
Figura 5. 2 - Representação gráfica da CR e do isolamento sonoro padronizado a sons de percussão por banda de frequência	71
Figura 5. 3 - Representação gráfico dos índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea e a sons de percussão dos pavimentos ensaiados	74
Figura 5. 4 - Pavimento simples sem qualquer revestimento inferior	75
Figura 5. 5 - Comportamento típico dos valores de R (perda de transmissão) com a frequência de um pavimento simples [adaptado 30].....	76
Figura 5. 6 - Esquema representativo da frequência crítica de um pavimento	77
Figura 5. 7 - Pavimento em madeira com revestimento inferior em madeira	79

Figura 5. 8 - Pavimento com revestimento inferior com frequências de coincidência distintas (acima) e iguais (abaixo) nos dois revestimentos onde se pode verificar uma maior diminuição do R no caso de baixo [10]	80
Figura 5. 9 - Marcação dos pontos notáveis e traçado da curva de R em função da frequência [6]	81
Figura 5. 10 - Método gráfico de Sharp para determinação dos valores de R em função da frequência para pavimentos com revestimento inferior (leves) [6]	83
Figura 6. 1 - Corte vertical das câmaras reverberantes da FEUP à esquerda e fotografia do acesso às câmaras reverberantes E2 e R1, à direita	90
Figura 6. 2- Sonómetro (à esquerda), fonte sonora (à direita em cima) e máquina de percussão (à direita em baixo) utilizados nos ensaios laboratoriais.....	91
Figura 6. 3 – Pavimento tipo ensaiado, à exceção do número 3 (tarugos) [5]	94
Figura 6. 4 - Vigas de madeira utilizadas na estrutura de suporte do pavimento.....	94
Figura 6. 5 - Soalho em pinho utilizado nos ensaios acústicos	95
Figura 6. 6 - Aplicação do revestimento inferior do pavimento em fasquiado com estuque	96
Figura 6. 7 - Tabuado de pinho aparafusado às vigas, também estas em pinho	96
Figura 6. 8 - Vigamento em madeira (à esquerda) e soalho pronto a ensaiar, ensaio A (à direita)	98
Figura 6. 9 - Corte esquemático da solução de ensaio A	98
Figura 6. 10 - Colocação do apoio resiliente sobre as vigas (à esquerda) e aplicação do soalho sobre o mesmo (à direita).....	99
Figura 6. 11 - Corte esquemático da solução de ensaio B	99
Figura 6. 12 - Colocação do apoio resiliente de maior densidade sobre as vigas (à esquerda) e assentamento do soalho sobre o mesmo (à direita)	100
Figura 6. 13 - Corte esquemático da solução de ensaio C	100
Figura 6. 14 - Aplicação do fasquiado (à esquerda) e sucessivo recobrimento com estuque (à direita).....	101
Figura 6. 15 - Colocação da lã de rocha na caixa de ar do pavimento (à esquerda) e posterior colocação dos apoios resilientes sobre as vigas de madeira (à direita)	102
Figura 6. 16 - Corte esquemático da solução de ensaio D	102
Figura 6. 17 - Colocação dos apoios resilientes de modo descontínuo sobre as vigas (à esquerda) e posterior fecho do recobrimento em soalho (à direita).....	103
Figura 6. 18 - Corte esquemático da solução de ensaio E	103
Figura 6. 19 - Caixa de ar do pavimento sem lã de rocha (à esquerda) e revestimento superior das vigas em soalho (à direita).....	104
Figura 6. 20 - Corte esquemático da solução de ensaio F	104
Figura 6. 21 - Colocação da lã de rocha na caixa de ar do pavimento em madeira (à esquerda) e posterior aplicação do soalho sobre as vigas de madeira (à direita)	105
Figura 6. 22 - Corte esquemático da solução de ensaio G	105

Figura 6. 23 - Controlo do tempo de reverberação na câmara R1 através da colocação de painéis absorventes.....	114
Figura 6. 24 - Índice de redução sonora a sons de condução aérea e índices de isolamento sonoro normalizados a sons de percussão, com e sem alcatifa, das variantes de pavimentos em madeira ensaiadas acusticamente em laboratório.....	116
Figura 7. 1 - Valores de $D_{nT,w}$ e critério regulamentar do RRAE aplicável	126
Figura 7. 2 - Valores de $D_{nT,w}$, critério regulamentar do RRAE e critério do artigo 5º, ponto 8, do RRAE	126
Figura 7. 3 - Valores de $D_{nT,w}$, critério regulamentar do RRAE, critério do artigo 5º, ponto 8, do RRAE e critério do artigo 5º, ponto 6, do RRAE	127
Figura 7. 4 - Valores de $L'_{nT,w}$ e critério regulamentar do RRAE	127
Figura 7. 5 - Valores de L'_{nTw} , critério regulamentar do RRAE e critério do artigo 5º, ponto 8, do RRAE	128
Figura 7. 6 - Valores de L'_{nTw} , critério regulamentar do RRAE, critério do artigo 5º, ponto 8, do RRAE e critério do artigo 5º, ponto 6, do RRAE	129
Figura 7. 7 - Isolamento sonoro a sons de condução aérea proporcionado pelo pavimento com revestimento em fasquiado com estuque em fase de secagem e em fase seca	132
Figura 7. 8 - Curvas de isolamento sonoro a sons de condução aérea de um ensaio, E5, sem revestimento inferior em fasquiado com estuque, e de um ensaio, E8, com revestimento inferior em fasquiado com estuque. Perdas de isolamento sonoro significativas nos 200 Hz e nos 2000 Hz, respetivamente	133
Figura 7. 9 - Solução construtiva recomendada	135
Figura 7. 10 - Comparação entre curvas de isolamento sonoro a sons de condução aérea do ensaio A, curva teórica correspondente e curvas de ensaios in situ comparáveis.....	141
Figura 7. 11 - Comparação entre curvas de isolamento sonoro a sons de percussão do ensaio A, curva teórica correspondente e curvas de ensaios in situ comparáveis	142
Figura 7. 12 - Comparação entre curvas de isolamento sonoro a sons de condução aérea do ensaio F, curva teórica correspondente e curvas de ensaios in situ comparáveis.....	143
Figura 7. 13 - Comparação entre curvas de isolamento sonoro a sons de percussão do ensaio F, curva teórica correspondente e curvas de ensaios in situ comparáveis	145
Figura 7. 14 - Gráfico comparativo dos índices de isolamento sonoro obtidos nos ensaios in situ, laboratoriais e através da aplicação de modelos de cálculo teóricos	146

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3. 1 - Diferentes espécies de madeira e as suas principais características, adaptado [27]	33
Quadro 4. 1 - Equipamentos utilizados nos ensaios acústicos in situ	45
Quadro 4. 2 - Constituição dos pavimentos ensaiados	49
Quadro 4. 3 - Pavimentos ensaiados acusticamente e referência associada	60
Quadro 5. 1 - Nível médio de pressão sonora, L_1 [dB], no compartimento emissor para uma determinada posição da fonte sonora	62
Quadro 5. 2 - Valores de nível de pressão sonora média-energética [dB] no compartimento recetor, ruído de fundo e correção respetiva.....	63
Quadro 5. 3 - Valores do Tempo de Reverberação, TR [s], no compartimento recetor por banda de frequência.....	64
Quadro 5. 4 - Valores de isolamento sonoro bruto [dB] por banda de frequência para uma determinada posição da fonte sonora	64
Quadro 5. 5 - Isolamento sonoro padronizado [dB] por banda de frequência para uma determinada posição da fonte sonora	65
Quadro 5. 6 - Isolamento sonoro padronizado médio [dB] por banda de frequência após concluídas as duas posições da fonte sonora	65
Quadro 5. 7 - Valores de referência para sons de condução aérea	66
Quadro 5. 8 - Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea [dB] do pavimento em causa	66
Quadro 5. 9 - Isolamento sonoro bruto [dB] por banda de frequência para uma posição da máquina de percussão	68
Quadro 5. 10 - Isolamento sonoro padronizado [dB] por banda de frequência para uma determinada posição da máquina de percussão.....	69
Quadro 5. 11 - Isolamento sonoro padronizado médio [dB] para ambas as posições da máquina de percussão	69
Quadro 5. 12 - Valores de referência para sons de percussão	70
Quadro 5. 13 - Índice de isolamento sonoro a sons de percussão [dB] do pavimento em causa.....	70
Quadro 5. 14 - Tempo de reverberação (s) e ruído de fundo (dB), por banda de frequência, dos compartimentos recetores nos edifícios analisados	72
Quadro 5. 15 - Isolamento sonoro padronizado a sons aéreos e a sons de percussão para cada pavimento ensaiado, por banda de frequência	73
Quadro 5. 16 - Índice de isolamento sonoro padronizado a sons aéreos (dB) e índice de isolamento sonoro padronizado a sons de percussão (dB) dos pavimentos ensaiados	74
Quadro 5. 17 – Propriedades mecânicas do pinho bravo e do fasquiado com estuque	85
Quadro 5. 18 – Variáveis dos casos em análise e determinação de $D_{nT,w}$ com base em R_w	86
Quadro 5. 19 – Excerto dos valores de KTM segundo a EN 12354-2:2000.....	87

Quadro 5. 20 - Variáveis dos casos em análise e determinação de $L'_{nT,w}$ com base em R_w	88
Quadro 6. 1 - Dimensões dos elementos de construção do pavimento em madeira	97
Quadro 6. 2 - Tempo de reverberação e ruído de fundo, por banda de frequência, na câmara reverberante recetora, R_1	113
Quadro 6. 3 - Redução sonora e isolamento sonoro a sons de percussão com e sem alcatifa, por banda de frequência, dos pavimentos ensaiados em laboratório	114
Quadro 6. 4 - Índice de redução sonora e índice de isolamento sonoro a sons de percussão dos pavimentos ensaiados em laboratório	115
Quadro 6. 5 - Índice de isolamento sonoro padronizado tipo a sons de condução aérea, bem como a sons de percussão, dos pavimentos ensaiados laboratorialmente e respetivas variáveis envolvidas	117
Quadro 7. 1 - Índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea e a sons de percussão dos pavimentos ensaiados acusticamente in situ	120
Quadro 7. 2 - Excerto do RRAE para edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras [6]	124
Quadro 7. 3 - Índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea e a sons de percussão impostos pelo RRAE depois de considerado o seu artigo 5º na totalidade	124
Quadro 7. 4 - Valores do critério regulamentar, critério do artº5 do ponto 6 do RRAE e critério do artº5 do ponto 8 do RRAE	125
Quadro 7. 5 - Resumo do cumprimento ou incumprimento do RRAE por parte dos pavimentos dos edifícios ensaiados	129
Quadro 7. 6 - Índice de redução sonora e índice de isolamento sonoro a sons de percussão dos pavimentos ensaiados em laboratório	130
Quadro 7. 7 - Índice de isolamento sonoro padronizado a sons de condução aérea e o equipolente para sons de percussão das variantes de pavimentos em madeira ensaiadas laboratorialmente	136
Quadro 7. 8 - Resumo do cumprimento ou incumprimento do RRAE por parte dos pavimentos ensaiados em laboratório	137
Quadro 7. 9 - Resumo dos índices de isolamento sonoro padronizado a sons de condução aérea, bem como a sons de percussão, dos pavimentos em madeira ensaiados in situ e os seus equiparáveis em laboratório e através de modelos de cálculo teóricos	139

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

α	- coeficiente de absorção sonora
T	- tempo de reverberação [s]
V	- volume do compartimento [m ³]
A	- absorção sonora equivalente [m ²]
S	- superfície real do material [m ²]
Pa	- unidade de medida de pressão: pascal
dB	- unidade de medida de pressão sonora: decibel
L _p	- nível de pressão sonora [dB]
p	- pressão sonora [Pa]
p ₀	- pressão sonora de referência [Pa]
R'	- redução sonora aparente [dB]
R	- redução sonora [dB]
D	- isolamento sonoro bruto [dB]
T ₀	- tempo de reverberação de referência [s]
D _{nT}	- isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado [dB]
D _{nT,w}	- índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado [dB]
L' _{nT}	- isolamento sonoro padronizado a sons de percussão [dB]
L' _{nT,w}	- índice de isolamento sonoro padronizado a sons de percussão [dB]
L _A	- nível sonoro contínuo equivalente do equipamento [dB]
L _{A,r,nT}	- nível de avaliação do ruído particular de equipamentos e instalações [dB]
ΔL_w	- redução sonora [dB]
A	- amplitude de onda sonora [m]
T	- período de onda sonora [s]
λ	- comprimento de onda sonora [m]
f	- frequência de onda sonora [Hz]
I	- intensidade sonora [W/m ²]
L	- nível de pressão sonora média-energética [dB]
L _b	- nível do ruído de fundo [dB]
L _{sb}	- nível do sinal e do ruído de fundo combinados [dB]
f _{res}	- frequência de ressonância [Hz]

RGR – regulamento geral do ruído

RRAE – regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios

DL – decreto-lei

1

INTRODUÇÃO

1.1. PREÂMBULO

Habitamos um país que desde cedo se manifestou como uma sociedade de opostos, em que o meio-termo foi poucas vezes a constante presente e pacificadora. Se por um lado assistimos a anos de carência de possibilidades económicas e sociais em que tudo o que servia a sociedade marcava pela ausência, assistimos por outro lado a anos capazes de transformação tal, em que o património edificado passou a marcar pelo excesso atual. Era certo que Portugal necessitava de hospitais, edifícios de serviços, infraestruturas de transportes variadas, parques habitacionais e de lazer. Chegamos ao 25 de Abril de 1974 e a maioria da população residente tinha noção da realidade em que viviam, com os olhos postos naquela que hoje é a Europa de que fazemos parte e conscientes das necessidades do país mencionadas. Mas foi precisamente com o apoio dessa Europa que Portugal cresceu. Cresceu, no entanto, perdendo um pouco a noção e consciência que havíamos presenciado outrora por motivos diversos. Assistimos assim em tempos hodiernos à reforma da justiça pelo suposto/real excesso de tribunais e delegações, ao pensamento mais sério acerca das grandes autoestradas que não justificam o investimento realizado com base em análises atuais de tráfego, à consciencialização e racionalização dos recursos na saúde com o agrupar de necessidades específicas apenas em torno dos maiores centros hospitalares. A atividade e mercado associados à Construção Civil estiveram presentes durante todos estes períodos.

Hoje a realidade é diferente da sentida e vivida no passado. Não assistimos no presente ao apogeu da construção que marcou a geração anterior. Foram sem dúvida tempos de loucura, sonho e concretização para todo o mercado da construção civil, incluindo como seria de esperar a Engenharia Civil. Foram tempos que permitiram o nascer de grandes obras de engenharia, grandes obras de arte e enormes parques habitacionais. Hoje a preocupação é outra: a reabilitação urbana assume a perspetiva crescente que se esperava depois da recente e ainda presente (mais que não seja na memória muito fresca) crise económica e social.

Habitamos também um país que possui um património invejável e realmente enriquecedor. Há que preservar o mesmo, consciencializar a sociedade para a necessidade de manter e conservar a identidade que marca a história de Portugal. Não falamos de edifícios com 5 anos de existência, mas sim de verdadeiras obras de arte com mais de 100 anos ou muito próximas de tal. A beleza e encanto que nos proporcionam e nos permitem observar estas edificações são muitas vezes razão de sucesso e privilégio para os grandes centros urbanos. No entanto o fluxo populacional foi durante décadas precisamente o contrário, fuga dos centros urbanos com preferência pela periferia, levando ao abandono dos edifícios e decadência de serviços nos centros. Esta fuga foi essencialmente motivada pelo aparecimento de boas infraestruturas de transportes que permitiam a deslocação para o trabalho de modo cómodo e rápido, e por outro lado, a habitação e residência em local mais económico e onde a rotina diária possibilitava

melhores condições de vida. É certo que este fluxo foi exagerado sentindo a sociedade envolvente destes espaços que hoje é altura e tempo certo de voltar a habitar os centros históricos das cidades.

Sucedem que as necessidades de conforto, bem-estar e ambiente habitável exigidas atualmente, diferem em escala considerável das presenciadas em tempos passados e que correspondem à data de construção da maioria esmagadora do património edificado desses centros. A acústica dos edifícios não é exceção e cabe-nos a nós, engenheiros, estudantes sempre presentes, investigadores e/ou membros da atividade da construção, zelar pelas necessidades atuais da sociedade para de novo dar “vida” aos centros históricos. Torna-se fácil cumprir este objetivo quando pensamos na infinidade de soluções atuais, modernas e inovadoras que a construção nos permite adotar e empregar. No entanto estamos a referir-nos a técnicas que são maioritariamente intrusivas e consideravelmente destruidoras da identidade, riqueza e unicidade que ocupam estas habitações a reabilitar. Engenharia, mais do que contruir de novo, é a arte de manter o que encontramos modificando apenas aspetos que permitam abraçar as exigências regulamentares e sociais atuais. Aqui sim, encontramos dificuldades, incompatibilidades e inconvenientes que apenas a engenharia verdadeiramente sábia consegue resolver. Neste campo existe um horizonte aberto a novos estudos e investigação, uma vez que se tem observado maioritariamente uma remoção de tudo o que se encontra no interior destes edifícios históricos e a sua substituição por elementos atuais nomeadamente de betão armado. O que mantém a base do trabalho aqui presente é precisamente abordar e estudar soluções construtivas presentes em edifícios que evidenciam de forma clara a sua história, nomeadamente ao nível das características acústicas dos pavimentos.

A sociedade atual é cada vez mais uma sociedade exigente e rica de conhecimento. A busca continua desse conhecimento aliada às exigências de cariz económico, conduz à procura continua de soluções tecnológicas. Quando comparamos o custo de construção de uma laje em betão armado num edifício histórico após a remoção do pavimento que lá se encontrava, com o custo de reabilitar e manter a solução construtiva existentes, as diferenças são abismais, apresentando esta última um custo inferior. Nem se refere ainda a preservação do património histórico que é sem dúvida uma mais-valia para a história e personalidade marcada por determinado país. Como tal torna-se importante a consciência que a reabilitação é tema atual, é o único tema que permite ressuscitar a economia portuguesa com base na construção civil que desde sempre foi o seu principal indicador e é tema que importa aprofundar e aplicar segundo estudos que comprovem a eficiência e eficácia das soluções construtivas.

1.2. PROBLEMÁTICA

Atualmente reabilitação já não é assunto alheio a profissionais de construção, engenharia e em geral a toda uma sociedade atenta e observadora da lógica dos centros urbanos, pelo contrário, reabilitação traduz o assunto de base em tempos hodiernos. Com esta surge a preocupação crescente e em expansão com a acústica dos edifícios.

Portugal tem uma relação intrínseca com a construção civil desde há muitos anos, sendo o berço e local de sede de grandes empresas de engenharia, construção e serviços nomeadamente a nível do norte do país. No entanto quando pensamos acerca dos anos de construção em Portugal estes referem-se sobretudo, numa quase totalidade, a construção nova sendo que até há bem pouco tempo reabilitar era algo que ficava apenas pelo lado imaginário, salvo raras exceções. Com o presente encarando esta perspetiva como sendo uma oportunidade de investimento, salvaguardando o património edificado, contribuindo para a sua manutenção e conservação, denota-se a ausência significativa de legislação que permita o decorrer da atividade de modo tranquilo, eficaz e eficiente. De facto, os projetos são morosos, os licenciamentos complicam-se e não existe uma base legal que permita um apoio constante e a

assinatura consciente de termos de responsabilidade por parte da equipa projetista e construtora. Não é a acústica uma ciência imune a este problema.

De facto, a sociedade olha hoje para a acústica de modo diferente quando comparado com uma ou duas décadas atrás. E fá-lo não só por interesse, investigação e desenvolvimento académico, mas também porque sente a necessidade de conforto, bem-estar e ambiente saudável nas suas residências. O presente caracteriza-se por um dinamismo puro dos grandes centros urbanos que tendem a ser cada vez mais as “cidades que não dormem”. No entanto, como tudo, também este dinamismo tem um preço a pagar, sendo que tornar estes centros habitáveis, atrativos para famílias residentes na periferia ou para hotéis por exemplo, é cada vez mais uma tarefa difícil que só se torna possível quando há uma conciliação de interesses e fins. A acústica não escapa a este interesse da sociedade que procura no final do dia um refúgio de sossego e tranquilidade onde possa usufruir do silêncio ou qualidade sonora do espaço que detém. Só assim os centros urbanos conseguirão voltar a ser atrativos como meio residente e não apenas como local centralizador de comércio e serviços.

Quando pensamos na reconstrução de determinado edifício não encontramos elevada dificuldade em satisfazer as exigências da sociedade atual mencionadas. Existem modelos teóricos que facilmente se adequam a soluções construtivas atuais de modo a transformá-las em verdadeiras “barreiras acústicas” mais ou menos eficazes conforme o grau de maior ou menor exigência estabelecida. Não se trata simplesmente de cumprir o mínimo exigível por lei, mas antes uma questão de conforto, qualidade e excelência do produto final.

A realidade da reabilitação é bem distinta. Encontrar modelos teóricos que permitam avaliar o isolamento sonoro a ruídos de condução aérea ou de percussão, ou a redução sonora proporcionada por determinado elemento construtivo existentes no património edificado da casa burguesa é um trabalho árduo e talvez impossível em diversas circunstâncias. Isto porque estes mesmos modelos estão orientados para situações específicas e tradutoras da realidade da construção nova. No que diz respeito à informação sobre ensaios realizados em laboratório ou *in situ* esta é diminuta quando olhamos para o estado da arte, que evidencia sinais de um desenvolvimento e investigação precoces comprovados pela inexistência de uma base de dados completa. Muito há ainda a fazer nesta área de modo a transformar a reabilitação num processo simples com base em conhecimentos mencionados e consolidados através de uma bibliografia sólida e precisa.

Com vista ao desenvolvimento do presente trabalho surge a necessidade de avaliar a problemática da avaliação em laboratório de um pavimento típico da casa burguesa de modo a caracterizar convenientemente o isolamento sonoro a ruídos preconizado pelo mesmo e as melhorias sentidas aquando da introdução de variantes que teoricamente proporcionem um melhoramento significativo das propriedades acústicas. Só assim se consegue estabelecer as relações pretendidas com modelos de cálculo teóricos e teórico-experimentais.

Sabe-se à partida que esta caracterização em laboratório não permite a identificação de certas complexidades que surgem apenas no âmbito da aplicação *in situ* destes pavimentos, como é o caso das transmissões marginais que não sendo contabilizadas permitem uma caraterização isenta apenas da solução testada. Neste campo de ação por mais que se pretenda considerar o seu efeito de modo artificial (teórico) é importante a consciência da pormenorização das soluções construtivas analisadas. As campanhas *in situ* permitirão um acesso a dados realistas do isolamento proveniente dos pavimentos de acordo com a sua envolvente enriquecendo a investigação e trabalho realizados. No entanto, existe a consciência de que são as próprias condições dos ensaios *in situ*, devido ao estado de degradação dos edifícios, por exemplo, que por vezes influenciam o resultado final.

Importa ainda salientar que, como já foi referido anteriormente, o atual trabalho decorre segundo uma orientação escolhida e específica, sendo errado assemelhar as conclusões obtidas a casos práticos distintos ou envolvidos por condições diferenciadas das observadas em ensaios e acolhidas em cálculos.

1.3. OBJETIVOS

Percorrendo Portugal de norte a sul, este a oeste, a tipificação de habitação e património edificado global abraça uma variedade gigantesca de soluções construtivas, materiais e modo de aplicação. Tal ganha razão de ser quando pensamos na diferença de microclimas existente no nosso país, na diferença de materiais existentes em diferentes posições geográficas de Portugal Continental e ainda com base na diferença da época de construção do edificado. Percebe-se perfeitamente a disparidade encontrada quando tentamos indicar semelhanças entre um edifício típico do norte de Portugal, com mais de cem anos de história e um outro, com a mesma idade cronológica, mas típico da ilha da Madeira.

Deste modo, quando abordamos a reabilitação de diferentes edifícios estamos certamente perante problemas individuais e claramente distintos. A ligação entre diferentes materiais, a união entre os mesmos, a sua consolidação e rigidez são características próprias de cada um e que definem metodologias de intervenção diversificadas, mas também particulares. Torna-se essencial e indispensável, aquando da intenção da reabilitação, a existência de um processo consolidado com base em estudos fundamentados. A ideia de que as soluções construtivas atuais se adaptam na perfeição às soluções construtivas encontradas em edifícios históricos é claramente errada e está nos tempos hodiernos associada a patologias verificadas em edifícios recentemente reabilitados, muitas das vezes, problemas esses que o imóvel não possuía antes da intervenção.

Quando conjugamos a diversidade encontrada ao nível da técnica construtiva como mencionado acima com a diversidade de utilizações e fins encontrados na construção histórica, percebemos claramente que não é possível dentro do âmbito do documento aqui produzido, a introdução e globalização do estudo para uma uniformização de soluções. Edifícios monumentais como igrejas, conventos, museus, edifícios históricos associados à laboração atual de serviços como são o caso de algumas câmaras municipais, ou ao lazer, o que diz respeito a bibliotecas por exemplo, possuem exigências legislativas distintas de edifícios históricos destinados à habitação, bem como o seu âmbito claramente díspar.

Com isto o trabalho agora realizado concentra-se em casos de estudo concretos e específicos sendo a única condição prevalecente a ausência de elementos em betão armado. Contudo os edifícios em análise possuem características idênticas próprias dos mesmos e semelhantes às encontradas na casa burguesa (fachadas exteriores em alvenaria de pedra, divisórias interiores em tabique ou bloco de alvenaria, pavimentos em madeira). Pretende-se a identificação dos pavimentos existentes em edifícios atualmente considerados históricos ou com interesse reforçado dentro da perspetiva da reabilitação, de modo a permitir o estudo das características acústicas dos mesmos, nomeadamente ao nível do isolamento sonoro a ruídos de condução aérea e de percussão. Pela realização de campanhas de ensaios *in situ* será possível a comparação entre valores registados no local e valores obtidos através de modelos teóricos pela análise acústica dos pavimentos em causa. Conseguiremos assim avaliar a adequabilidade dos modelos teóricos à realidade presente no dia-a-dia da reabilitação, ponderando eventuais adaptações ou identificando divergências claramente carentes de uma mais recente e inovadora apropriação da teoria às tecnologias construtivas encontradas.

Avaliando por outro lado a comparação possível entre os dados registados *in situ* com as exigências atuais da legislação será possível perceber o cumprimento da mesma ou o ajuste necessário para que tal

se processe. Espera-se assim concluir acerca da efetiva necessidade de substituição dos pavimentos encontrados por uma laje de betão armado, por exemplo, aquando de uma posterior ação de reabilitação.

Estudando acusticamente (isolamento a sons aéreos e de percussão) em laboratório um pavimento-tipo que agregue as características principais do conjunto de pavimentos identificados e estudados no local onde se encontram, tenciona-se ainda alcançar um combinado de soluções que possam ser indicadas como regras de boas práticas aquando da reabilitação de edifícios comparáveis aos analisados. Tal só será possível equilibrando o estudo em laboratório com diferentes e pequenas variantes do pavimento em análise verificando os resultados obtidos através da aplicação dos modelos teóricos existentes.

1.4. METODOLOGIA APLICADA

No presente trabalho, tal como em qualquer outro de índole científica e tecnológica, foi necessária a adoção de uma metodologia de abordagem e desenvolvimento do tema. Este por sua vez corresponde à vontade do estudante, investigador, de alargar os seus conhecimentos e aplicar a sua especialização na área da reabilitação, sendo mais preciso, na área da reabilitação acústica dos edifícios tradicionais. Sendo o tempo disponível para elaboração da dissertação presente considerado reduzido para um estudo global e abrangente de todo o processo de reabilitação, tornou-se então necessário, a escolha de um caminho específico a tomar de onde surge a problemática dos pavimentos.

O método de trabalho escolhido consiste essencialmente num âmbito técnico-científico com uma vertente lógico-dedutiva. Tal justifica-se dado o ponto de partida através de determinadas premissas chegando-se às conclusões apresentadas depois de aplicados mecanismos dedutivos. Como fator de base prévia do alcance de qualquer premissa ou conclusão, está todo um processo de pesquisa e investigação. Numa fase inicial denomina-se este processo como o estudo e levantamento do estado da arte, sendo um trabalho de pesquisa e investigação cada vez mais direcionada para um objetivo específico e concentrado à medida que se progride no desenvolvimento da dissertação. Todo este envolvimento na inquirição dos meios e factos requer uma consulta de trabalhos outrora desenvolvidos, apresentados e reportados como documentos científicos e de interesse académico, bem como de toda uma bibliografia de revistas, artigos e produtos finais de carácter científico-tecnológico certificado.

Contudo, de modo a fornecer a resposta pretendida à problemática identificada e descrita, e ainda com vista ao esclarecimento de cada um dos objetivos mencionados, o trabalho de investigação não é suficiente para o grau de clareza que se pretende. Surgem durante a laboração de todo este projeto hipóteses que é necessário validar ou refutar com base em argumentos válidos. Há ainda problemas que foram referidos e que se pretende que sejam chamados no momento certo com vista ao encontro com o seu solucionamento. Neste sentido complementa-se a metodologia adotada com a componente experimental, envolvendo esta última as medições a realizar *in situ*, bem como modelos e métodos de ensaio claramente definidos e descritos. Tem-se o conhecimento prévio de que o laboratório de acústica e toda a sua componente de materiais e técnicas exigem uma preparação eficaz acompanhada por uma dedicação eficiente. Toda a envolvente de cálculos e dimensionamentos da amostra exige a obrigatoriedade de organização antes de qualquer ensaio acústico em laboratório. Por outro lado, qualquer medição de variáveis *in situ* que não seja devidamente programada e identificada, reduz em larga escala a probabilidade de sucesso dos ensaios e consequentemente compromete o rigor do presente trabalho.

Assim sendo, através do texto que se segue cumprindo as exigências normativas impostas, foi prioridade em cada momento de decisão, a opção pela transparência dos resultados e dados recolhidos, a honestidade e humildade do investigador em colocar em cada linha não mais do que aquilo que

apreendeu e concluiu. Certa é a existência de uma problemática previamente definida e descrita, bem como a opção por estabelecer objetivos possíveis e credivelmente alcançados. No desenvolvimento da dissertação esses mesmos pontos de partida não foram ignorados nem ocultados com vista à eliminação de pontos mais difíceis ou de resolução mais complexa. No momento certo, aprovam-se determinadas hipóteses e anulam-se outras, assim como se alcançam objetivos e se identificam problemáticas que levem à ponderação de semelhantes pontos de trabalho ou mesmo outras vertentes de desenvolvimento.

A marca lógico-dedutiva referida e escolhida para o desenvolvimento da dissertação impede como é possível constatar, a separação entre a componente teórica, investigacional e de modelação de toda a componente prática, conclusiva e experimental.

1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

De modo a compilar o desenvolvimento dos objetivos selecionados recorre-se à organização da dissertação que agora se apresenta. No primeiro capítulo, que agora se encerra, é cedido o lugar à introdução do tema em análise e estudo, bem como à sensibilização e consciencialização dos leitores para o âmbito de trabalho e assunto dos tempos hodiernos: a reabilitação acústica dos edifícios. Ainda neste capítulo há lugar para a identificação da problemática e dos objetivos, bem como da metodologia adotada para a realização da investigação.

No *Capítulo 2 – Acústica: Um Presente em Análise Evolutiva* pretende-se uma abordagem simples e rápida, mas ao mesmo tempo completa, da área da acústica em estudo. Para tal recorre-se à definição clara de conceitos básicos e importantes para o entendimento do presente trabalho. Ainda neste capítulo faz-se uma referência evolutiva aos aspetos regulamentares, bem como de alguns conceitos teóricos.

No *Capítulo 3 – Parque Edificado Objeto de Estudo* dá-se prioridade à descrição detalhada e objetiva dos edifícios em análise no que à tipificação e solução construtiva diz respeito. Com isto deseja-se a perceção clara dos métodos construtivos da época referente à construção do parque edificado agora analisado, dos materiais envolvidos, bem como de toda a pormenorização construtiva incluída. Surge aqui oportunidade para um realce do ambiente social, económico, histórico e cultural do centro histórico em causa.

No *Capítulo 4 – Descrição Normativa e Desenvolvimento Experimental* recorre-se aos casos de estudo para uma descrição do ambiente de ensaio *in situ* e das características e parâmetros medidos. É neste capítulo que surge a descrição mais intensiva dos ensaios acústicos *in situ* levados a cabo.

No *Capítulo 5 – Cálculos Teóricos Aplicados aos Ensaio In Situ e Modelos de Previsão do Comportamento Acústico* estudam-se os modelos teóricos de transmissão sonora e de propagação das ondas sonoras existentes, de modo a averiguar a aplicação e viabilidade dessa mesma introdução nos casos de estudo. Descreve-se neste capítulo o comportamento acústico dos pavimentos estudados.

No *Capítulo 6 – Ensaio Laboratoriais* é o lugar onde se retém a informação acerca do processo conclusivo derivado dos ensaios acústicos em laboratório dos pavimentos. Deste modo, com base nos cálculos teóricos realizados e nas conclusões experimentais, registam-se pontos de interesse e eventuais divergências do pensamento encadeador da dissertação.

No *Capítulo 7 – Estudo de Resultados e Conclusões* o autor da dissertação reflete acerca do trabalho realizado, do tema escolhido bem como da metodologia seguida, registando um resumo das principais conclusões. Deixa-se neste capítulo uma síntese crítica acerca dos desenvolvimentos alcançados, bem como de eventuais oportunidades para futuros estudos.

2

ACÚSTICA: UM PRESENTE EM ANÁLISE EVOLUTIVA

2.1. INTRODUÇÃO

A acústica manifesta-se como uma ciência que ganha importância nos nossos dias com o aumentar das exigências de conforto, bem-estar e saúde da sociedade vivente. Com isto, surgiu uma evolução ao longo dos anos nos estudos e conclusões da área que permitem agora uma análise progressiva e mais consolidada.

Através deste segundo capítulo tenciona-se uma definição clara dessas evoluções, bem como a caraterização de termos e dados que permitam ao leitor uma interpretação objetiva do trabalho realizado. Introduce-se ainda no presente capítulo uma matéria digna de espaço para maior detalhe posteriormente, mas que dado o seu caráter de mudança dos últimos anos, merece aqui referência: legislação associada à acústica em Portugal.

Pressupõe-se que o leitor se encontra familiarizado com termos e definições como: amplitude de uma onda sonora (A), frequência de uma onda sonora (f), comprimento de onda (λ) e período de uma onda sonora (T); intensidade sonora (I); sonómetro; pressão sonora (p); como pode consultar em *Acústica Ambiental e de Edifícios* de A. P. Oliveira de Carvalho ou em *Acoustique et réhabilitation* de Christine Simonin-Adam no caso de pretender aprofundar conhecimento acerca destes e outros assuntos.

2.2. A EVOLUÇÃO

2.2.1. HISTÓRIA DA ACÚSTICA

A palavra acústica deriva de *akoustiké*, feminino do grego *akoustikós*, que significa “relativo ao ouvido”. Por definição da palavra: “(...) ciência do som, que trata essencialmente do estudo da produção, comportamento e receção, quer objetiva quer subjetiva, de todos os tipos de ondas e vibrações elásticas em qualquer meio; conjunto dos fenómenos de reflexão e absorção sonoras que favorecem ou prejudicam a boa audição num lugar determinado”. [1]

O início dos estudos neste ramo remonta aos séc. VI a III a.C., aquando da dedicação dos filósofos Pitágoras, Crisipus, entre outros à análise filosófica da origem e propagação do som. Estes, a par dos conhecimentos relacionados com a construção de instrumentos musicais, são mesmo os temas mais antigos, e como tal pioneiros, no que à área da acústica diz respeito. [2]

De Architectura, no século I a.C., da autoria do arquiteto romano Vitruvius, faz referência a regras empíricas vocacionadas para a construção de anfiteatros com o intuito de obter o som desejado e

adequado. No entanto, a Acústica dos Edifícios com a qual nos encontramos hoje familiarizados, surge apenas no início do século XX, aquando do físico americano W. C. Sabine. [2]

A acústica dos edifícios é, no entanto, uma pequena temática absorvida pela globalidade de assuntos relacionados com a acústica, enquanto ramo da física fundamental (Fig. 2.1).

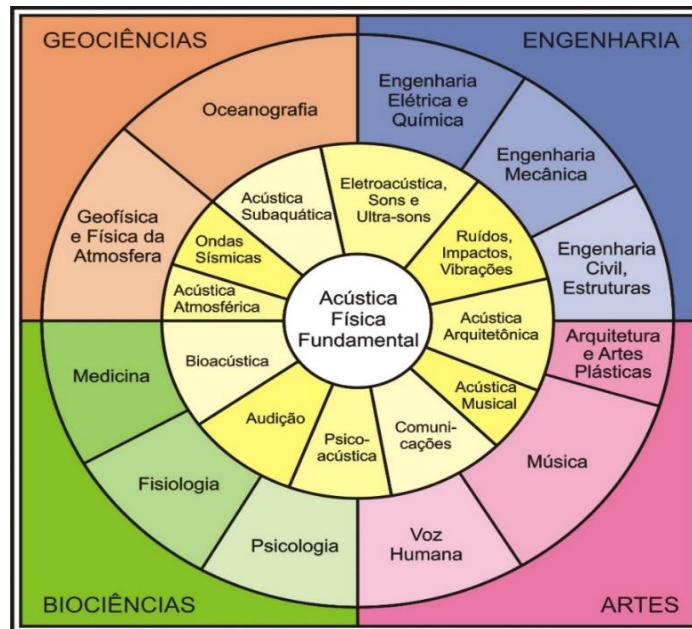


Figura 2. 1 – Áreas da Acústica e a sua Inter-Relação [3]

2.2.2. SOM

O som traduz-se de forma simples e intuitiva, pela sensação que o cérebro humano produz, posteriormente à captação das ondas sonoras pelo aparelho auditivo. De modo simplificado, as ondas sonoras não são mais do que uma variação de pressão no meio em que se propagam, baseando-se em ondas de compressão às quais se seguem dilatação ou rarefação (Fig.2.2). É deste modo que as mesmas chegam ao ouvido, quer seja no ar ou na água. Sem variações de pressão, ou seja, sem excitação do meio, não há som, pois não se provocam nem se propagam ondas sonoras. Por este mesmo motivo o som não se propaga no vácuo.

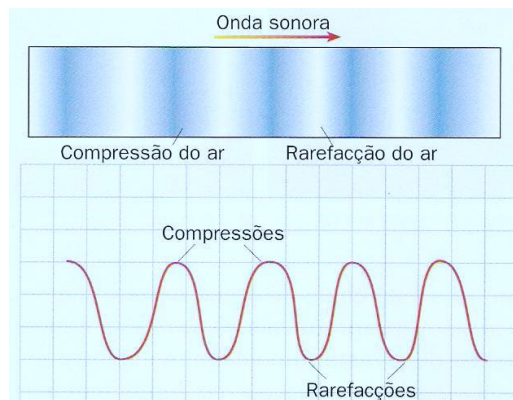


Figura 2. 2 - Propagação de Onda Sonora no Ar [4]

No entanto, determinada pessoa pode chamar de som, aquilo que uma outra pode denominar de ruído. Isto porque som e ruído dizem respeito a definições diferentes: som é agradável ou com significado para o ouvinte; ruído é desagradável ou sem significado para o ouvinte [2]. Tanto o som como o ruído podem ser estudados com base na pressão, na frequência e no tempo, sendo ambos complementares de uma análise eficaz.

2.2.3. VARIÁVEIS ACÚSTICAS RELEVANTES

De modo a clarificar o porquê de tanta investigação e numerosos estudos em redor do isolamento sonoro, quer a sons de condução aérea, quer a sons de percussão, importa referir alguns aspetos essenciais ao seu entendimento.

2.2.3.1. Nível de Pressão Sonora

Referindo novamente as variações de pressão no meio em que as ondas sonoras se propagam, as mesmas podem ser quantificadas segundo a unidade *pascal*, Pa. No entanto, a gama de audibilidade humana no domínio da pressão situa-se em 10^7 , sendo que a aplicação de uma escala linear em *pascal* na medição das pressões sonoras levaria ao uso de valores muito díspares e pouco práticos. Além do referido, o ouvido não responde de forma linear aos estímulos, mas antes de modo quase logarítmico, pelo que ao aglomerar com a razão anterior, motivou a escolha do *decibel* (dB) como unidade de avaliação dos níveis de pressão sonora. [6] Níveis de pressão, em Pa, podem através da fórmula (2.1) ser convertidos para níveis de pressão sonora, em dB.

$$L_p = 20 \times \log \frac{p}{p_0} \quad (2.1)$$

Onde:

L_p – Nível de Pressão Sonora (dB);

p – Pressão Sonora (Pa);

p_0 – Pressão Sonora de Referência (Pa), 2×10^{-5} Pa.

2.2.3.2. Absorção Sonora

Com o intuito de um determinado edifício corresponder às exigências de conforto pretendidas, retira-se partido da redução sonora proporcionada pelos vários elementos de construção envolvidos. Esta por sua vez é função não só das características intrínsecas aos próprios materiais, mas também da capacidade de absorção do compartimento recetor. [5]

Uma determinada onda sonora transporta uma certa quantidade de energia própria, que aquando da incidência da onda sobre uma superfície aleatória, se transforma em três tipos de energia: energia transmitida, energia absorvida e energia refletida. É precisamente a energia incidente em parceria com a energia absorvida, a maior contribuição para a definição do coeficiente de absorção sonora (α).

$$\alpha = \frac{\text{Energia Absorvida}}{\text{Energia Incidente}} \quad (2.2)$$

Este coeficiente de absorção sonora possui resultados compreendidos entre 0 e 1, sendo que um material classificado como absorvente possui um coeficiente superior a 0,5, isto é, absorve no mínimo 50% da energia que sobre ele incide. Existem dois métodos normalizados para a determinação deste coeficiente próprio de cada material:

- Método do tubo de ondas estacionárias (ISO 10534-1);
- Método da câmara reverberante (NP EN ISO 354:2007).



Figura 2. 3 - Tubo de ondas estacionárias e operador no seu manuseamento

O método do tubo de ondas estacionárias consiste na introdução de uma amostra do material em estudo numa das extremidades do tubo, existindo na outra extremidade, um pequeno altifalante com um orifício que é atravessado por uma vareta com um microfone associado, ligada a um carrinho que desliza sobre rodas num carril. Ao ligar o microfone, o mesmo cria uma onda sonora sinusoidal registada a partir do altifalante. Sobrepondo a onda sonora emitida com a onda sonora refletida, forma-se uma onda estacionária no tubo. É a forma desta onda estacionária, nomeadamente as suas amplitudes máxima e mínima, que permitem obter as informações necessárias para a determinação da absorção sonora do material. [5] A única limitação deste método prende-se com a incidência de ondas sonoras sobre a amostra em estudo apenas segundo a sua perpendicular.

Por outro lado, o método da câmara reverberante permite a criação de um campo denominado de difuso. Através da colocação de uma amostra de 10 a 12 m² de dimensão na câmara procede-se à determinação dos tempos de reverberação médios. Comparando estes tempos com os tempos de reverberação associados à câmara reverberante sem a amostra, e com recurso à fórmula de Sabine (2.2), determina-se o coeficiente de absorção do material.

$$T = 0.16 \times \frac{V}{A} \quad (2.3)$$

$$A = \alpha \times S \quad (2.4)$$

Onde:

- T – Tempo de Reverberação (s);
- V- Volume do Compartmento (m³);
- A- Absorção Sonora Equivalente (m²);
- α – Coeficiente de Absorção Sonora do Material;
- S – Superfície Real do Material (m²).

2.2.3.3. Tempo de Reverberação

As ondas sonoras que atingem determinado obstáculo ou que chegam ao ouvido humano, por exemplo, podem ser de origem direta ou refletida. As primeiras chegam até ao recetor sem a interferência de nenhuma outra superfície, provenientes assim diretamente da fonte sonora. Já as ondas refletidas provêm de múltiplas reflexões nas presenças envolventes, enfraquecendo o seu potencial energético em cada uma destas. Aquando da receção destas ondas que sofreram reflexões cria-se uma espécie de rasto sonoro, a que se chama de reverberação. A absorção sonora de determinado espaço impede as reflexões sucessivas das ondas sonoras, implicando assim uma relação direta com o tempo de reverberação desse mesmo espaço, como se comprova pelas equações (2.2) e (2.3).

O tempo de reverberação define-se como sendo o intervalo de tempo, em segundos, necessário para que o nível de pressão sonora diminua 60 dB, após a interrupção da emissão da fonte sonora [5]. No entanto, só em raras exceções as condições na prática permitem o registo desse decaimento, devido ao ruído de fundo que se sobrepõe previamente à extinção do som emitido. Neste sentido, o que habitualmente se faz consiste na obtenção de um decaimento de 30 dB, ou até mesmo de 20 dB, dando origem ao declive da reta, e a posterior extrapolação desse decaimento para se obter o tempo de reverberação. Denominam-se estes tempos, T₃₀ ou T₂₀, respetivamente. [6] O decaimento registado não pode, no entanto, ser inferior a 20 dB em qualquer situação, devendo sempre situar-se 10 dB acima do ruído de fundo.

A norma regulamentadora do processo de medição do tempo de reverberação é atualmente a ISO 3382-1:2009, prevendo a mesma dois métodos: ruído interrompido e resposta impulsiva integrada, fornecendo ambos as curvas de decaimento pretendidas. O método usualmente adotado e também o escolhido para incorporar a parte prática das medições do presente trabalho, é o método da resposta impulsiva integrada. Este consiste na medição da resposta obtida através de uma fonte impulsiva, como por exemplo pistolas de pólvora seca, pequenos canhões (para grandes espaços), balões ou faíscas elétricas (para maquetes acústicas), ou qualquer outra fonte capaz de produzir níveis de pressão sonora constantes nas diversas bandas de frequências. [5]

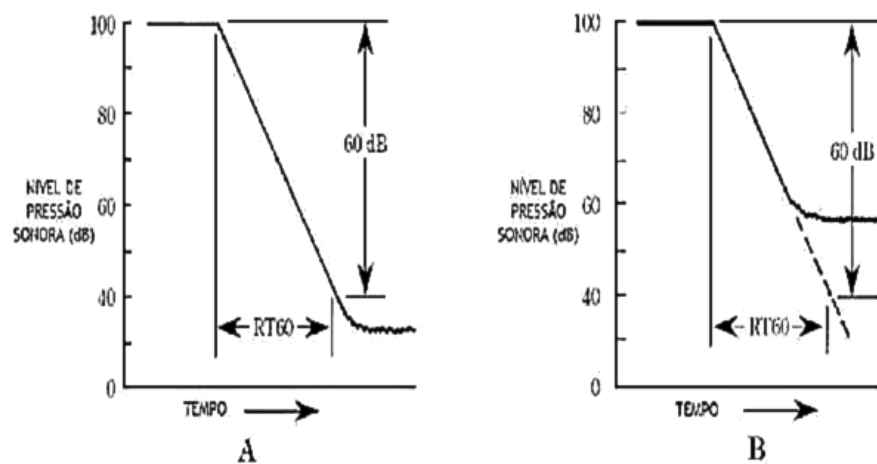


Figura 2. 4 - Definição do Tempo de Reverberação RT60 (valor teórico em A e obtido por extrapolação do declive em B). [7]

2.2.3.4. Modelos de Ruído

“No âmbito da acústica de edifícios, e numa perspetiva de formulação teórica de determinados fenómenos, existem dois modelos de ruído-tipo que se consideram mais frequentemente: o de ruído branco e o de ruído rosa.” [9]

Um ruído branco caracteriza-se através de um espectro em que o valor do nível de pressão sonora se mantém constante no domínio da frequência. Já um ruído rosa, é capaz de representação num espectro em que o valor do nível de pressão sonora decai 3 dB em frequências que distem entre si um intervalo de uma oitava. [10]



Figura 2. 5 - Modelo de ruído branco e rosa (esquerda e direita, respetivamente), em escala linear

2.2.3.5. Transmissão Sonora

Ao nível do ruído em edifícios existem dois tipos de fontes geradoras. Quando a fonte, através de uma solicitação mecânica, atua diretamente sobre a estrutura ou elementos de construção do edifício, estamos perante ruídos de percussão; por outro lado, se a fonte provocadora de ruído excita apenas o ar envolvente, estamos perante ruídos de condução aérea.

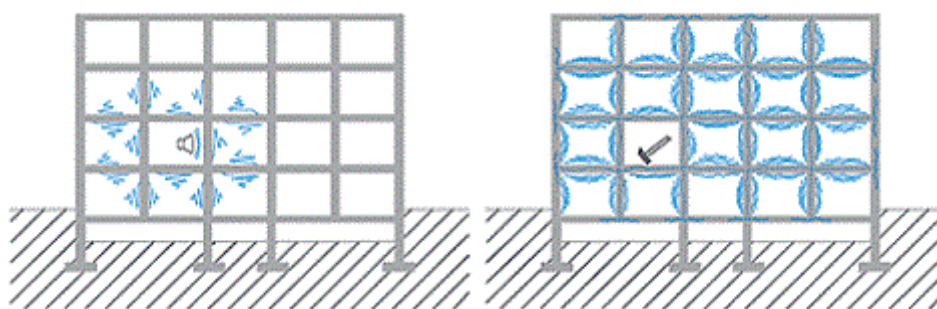


Figura 2. 6 - Esquema representativo da transmissão sonora de sons aéreos e de sons de percussão [8]

Independentemente do modo de propagação, tanto os sons aéreos como os sons de percussão transportam uma certa energia sonora associada, como aliás já foi referido em 2.2.3.1 e em 2.2.3.2. Deste modo a transmissão dessa energia pode seguir três caminhos: [5]

- Via direta – quando o elemento que dissipa a energia é o mesmo que separa a fonte do recetor;
- Via marginal/índireta – quando a transmissão da energia sonora ocorre pelos elementos envolventes do compartimento, no caminho entre a fonte e o recetor;
- Transmissões parasitas – estas dizem respeito a pontos fracos de elementos da construção que possuem uma capacidade de dissipação da energia sonora diminuta ou nula. Estas transmissões podem ocorrer através de pequenos orifícios, como por exemplo, através de passagens de cabos elétricos ou outros componentes numa parede de alvenaria, ou através de aberturas para ventilação de fachadas. Maioritariamente estes defeitos acústicos ocorrem por defeitos em fase de construção (não são raros os casos de coretes previstas em fase de projeto e que caem em esquecimento na fase de construção, originando soluções posteriores que nem sempre são as adequadas), defeitos de utilização ou simplesmente pela presença de um componente frágil.

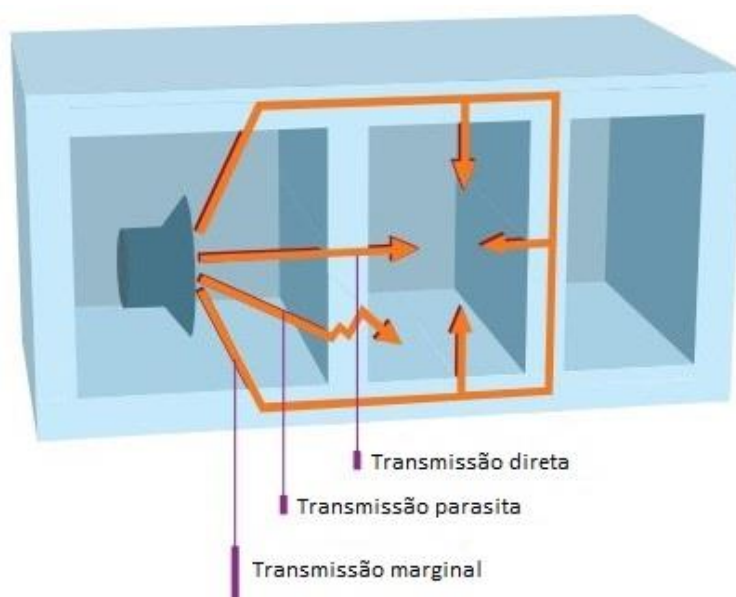


Figura 2. 7 - Transmissão sonora entre compartimentos *in situ*

2.2.3.6. Índices de Isolamento Sonoro

Anteriormente em 2.2.3.2. foi salientada a dependência da absorção sonora e das dimensões do compartimento recetor no que à redução sonora de determinado elemento diz respeito. Sendo conhecida a redução sonora, R' , função das características intrínsecas ao elemento de separação, consegue-se estabelecer a seguinte relação com o isolamento sonoro bruto, D (2.5).

$$D = R' + 10 \log \left(\frac{A}{S} \right) \quad (2.5)$$

Onde:

A- Área de Absorção Sonora Equivalente existente no compartimento recetor (m^2);

S – Superfície do Elemento de Separação (m^2).

O procedimento levado a cabo com vista à obtenção do isolamento sonoro proporcionado por determinado elemento construtivo, consiste na criação de um campo sonoro no compartimento emissor que se propaga até ao compartimento recetor, registando em ambos os locais os níveis médios de pressão sonora (L_1 e L_2 para os locais de emissão e receção, respetivamente). No caso de se tratar do isolamento a sons de condução aérea de fachadas de edifícios, a fonte criadora do campo sonoro coloca-se, seguindo a legislação, a dois metros da fachada, pelo que surge associado aos termos envolventes o índice 2m. Tal justifica-se pela intenção de não contabilizar o efeito das reflexões das ondas sonoras que ocorrem nos diferentes elementos constituintes das fachadas dos edifícios. Assim o isolamento sonoro bruto, por banda de frequência e em decibéis, é dado pela expressão (2.6).

$$D = L_1 - L_2 \quad (2.6)$$

No entanto, como é visível na equação (2.5), há uma relação do isolamento sonoro bruto com a área de absorção sonora equivalente, pelo que também existe uma dependência deste mesmo isolamento em relação à reverberação do compartimento recetor. No sentido de corrigir então o isolamento sonoro bruto de modo a torna-lo correto e válido quando confrontado com a dependência reconhecida, tratam-se os valores identificando-se o isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado (ou normalizado, segundo legislação cronologicamente ultrapassada), (2.7) e (2.8).

$$D_{nT} = D + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (2.7)$$

$$D_{2m,nT} = D_{2m} + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (2.8)$$

Onde:

T - Tempo de Reverberação no compartimento recetor (s);

T_0 – Tempo de Reverberação de Referência (em geral, 0.5s).

Apesar de condicionado e corrigido pelo tempo de reverberação do compartimento recetor, o isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado continua até então a ser analisado por banda de frequência. Com a introdução do ajuste entre os valores por banda de frequência que traduzem a curva dos valores reais e uma curva de referência, conforme descrito na norma NP EN ISO 717-1, obtém-se um índice único de avaliação do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado ($D_{nT,w}$ e $D_{2m,nT,w}$).

No que diz respeito ao isolamento sonoro a sons de percussão, não é relevante registar os valores médios de pressão sonora no local emissor, pois a relação destes com os valores médios de pressão sonora registados no local recetor é mínima. Assim, de modo a determinar este isolamento, segue-se a normalização existente, criando uma percussão no pavimento que se pretende avaliar, que sendo regulamentada permite a apreciação do ruído no compartimento recetor (L_i) [5]. Ainda assim, também os valores médios de pressão sonora registados no local de receção devem ser corrigidos para fazer face às condições de reverberação aí existentes, tal como anteriormente para o isolamento sonoro a sons de condução aérea (2.7), obtendo-se o isolamento sonoro a sons de percussão padronizado (2.9).

$$L'_{nT} = L_i + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (2.9)$$

De igual modo aos valores de isolamento sonoro a sons de condução aérea por banda de frequência, também agora se ajusta a curva dos valores reais (L'_{nT}) à curva de referência, com base na norma NP EN ISO 717-2, obtendo-se o índice de isolamento sonoro a sons de percussão ($L'_{nT,w}$).

Numa outra perspetiva, os edifícios são apetrechados com inúmeros equipamentos e instalações, que não sendo cuidadosamente selecionados e estudada a sua localização e envolvente, surgem como fontes de ruído causando incómodo aos ocupantes. No âmbito dos pavimentos também há cuidados a ter em conta, surgindo soluções como pavimentos flutuantes ou revestimentos resilientes, numa ótica do isolamento acústico ou prevenção de ruídos em fase de projeto.



Figura 2. 8 - Medição de nível de pressão sonora na proximidade de fonte de ruído (equipamentos em edifícios) [28]

Determinando o nível sonoro contínuo equivalente do equipamento, L_A , no compartimento recetor, durante um intervalo de tempo específico, e corrigindo-o para as condições de reverberação do compartimento recetor, obtém-se o nível de avaliação do ruído particular de equipamentos e instalações,

$L_{A,r,nT}$. A este valor pode adicionar-se uma penalização, ou não, por componentes tonais do ruído particular, K_{tonal} , seguindo a metodologia descrita no anexo I do RGR (Regulamento Geral do Ruído).

2.2.3.7. Métodos de Medição e Métodos de Estimação

No que diz respeito ao isolamento a sons aéreos de um conjunto de elementos (sistema) planos e homogéneos, este depende da inércia, da massa e das características elásticas (como a rigidez e o amortecimento interno) que definem os vários elementos constituintes da compartimentação considerada. Existem assim diferentes modelações para a caracterização do isolamento sonoro, algumas das quais já implementadas em sistemas de cálculo automático. [10]

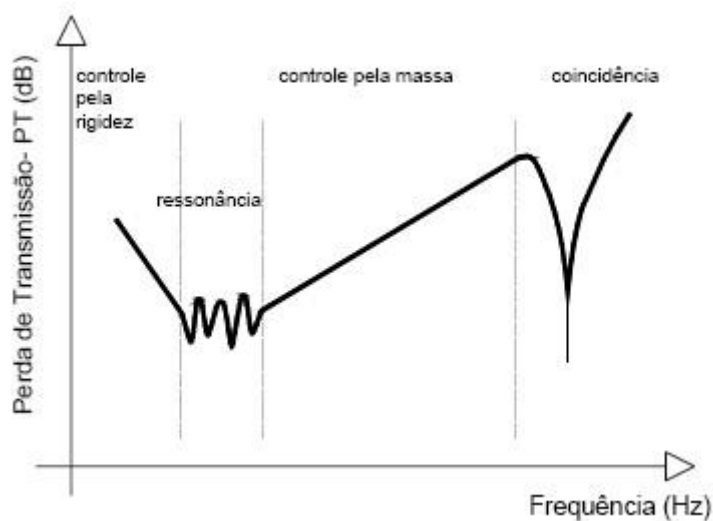


Figura 2. 9 - Caracterização do isolamento sonoro (perda de transmissão) em função da frequência [29]

Dos métodos existentes para a caracterização do isolamento sonoro de elementos de compartimentação interiores ou exteriores, seja a sons aéreos ou a sons de percussão, é possível uma divisão desses métodos em medição e estimação.

Os métodos de medição correspondem, em geral, a campanhas de medição *in situ* ou em laboratório, sendo que algumas medições, dada a sua especificidade (criação de campos sonoros semi-infinitos, metodologia de realização ou condições de ensaio) obrigam à sua realização só em laboratórios adequados para o efeito. As medições *in situ* apresentam a vantagem de possibilitar a avaliação da conformidade legal e/ou programática do isolamento sonoro dos edifícios que apresentam objetivos fixados. Por outro lado, as medições em laboratório apresentam características padronizadas no que diz respeito às instalações (câmaras reverberantes, neste caso) e provetes de ensaio (elemento construtivo em causa), não permitindo a análise de um compartimento edificado em geral. Ainda assim, dado o interesse em comparar a eficácia de diferentes soluções, o laboratório apresenta um potencial incalculável. [10]

É possível referir como métodos de medição (sons aéreos e sons de percussão):

- Método de caracterização experimental (ISO/CEN);
- Método de holografia acústica;
- Método de intensimetria sonora.

Numa outra vertente surgem os métodos de estimação. Estes só se aplicam em fase de estudo e projeto de determinada solução, isto é, aquando do estudo da composição dos elementos de compartimentação para determinado edificado, por exemplo. São métodos apoiados em formulações teóricas que pretendem traduzir, o mais aproximadamente possível, o comportamento vibracional dos elementos de compartimentação. Não obstante, essas formulações podem necessitar, em função da sua complexidade, de tratamento posterior simples ou com base em procedimentos numéricos sofisticados. [10]

São métodos de estimação (sons aéreos):

- Método elasto-dinâmico;
- Método de E. Gerretsen;
- Método de análise modal;
- Método dos elementos finitos (FEM);
- Método de análise estatística de energia (SEA).

De modo análogo surgem como métodos de estimação (sons de percussão):

- Método do invariante $R + L_n$;
- Método de R. Josse;
- Método de E. Gerretsen;
- Método de análise modal;
- Método dos elementos finitos (FEM);
- Método de análise estatística de energia (SEA).

Adiante, aquando da explanação dos métodos de estimação utilizados para prever o comportamento dos pavimentos analisados, será dedicado espaço para uma observação mais cuidada e detalhada. Nessa altura será o momento certo para uma explicação suficiente acerca dos métodos utilizados.

O carácter temporal e académico em que surge a presente dissertação não permite o desenvolvimento de um método de estimação próprio e específico para pavimentos de madeira. Surgirão certamente oportunidades referenciadas em desenvolvimentos futuros que poderão abranger esta temática, envolvendo uma componente unicamente teórica de modelação e aproximação.

2.3. OS PAVIMENTOS – REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA

O âmbito de estudo do presente trabalho centra-se no comportamento acústico de pavimentos estruturais em madeira. No entanto estes últimos já foram mais utilizados na construção de edifícios do que a realidade atual permite, utilizando-se nos tempos correntes quase unicamente em processos de reabilitação, sempre que se pretende manter a solução construtiva encontrada.

Assim sendo, neste campo de ação, são já alguns os documentos relativos ao tema em estudo, sendo que a relação direta entre modelos de cálculo teóricos e os resultados de ensaios *in situ* é talvez o tema menos aprofundado e com menos conclusões práticas e eficientes, validadas.

1988	Amélioration acoustique des logements • Diversos artigos como são o caso dos de autoria do Eng. Diogo Mateus
2005	• Sustainability of acoustic materials and acoustic characterization of sustainable materials
2006	• Acoustics of Wood
2008	Acústica nos Edifícios • Reabilitação Acústica
2010	• Caracterização acústica do comportamento de edifícios reabilitados
2012	• Volume 131 da JASA
2013	• Structural-acoustic vibrations in wooden assemblies. Experimental modal analysis and finite element modelling • Acoustic performance optimization under parameter and model uncertainties of a wood based floor
2014	• Caracterização Acústica de Edifícios Antigos – Tabique
2015	Caracterização Acústica de Pavimentos da Casa Burguesa Portuense Prediction of the acoustic performance of lightweight wood-based floor
2016	Effect of floor end and supporting leg position of floating floor of wood frame construction floor on heavy-weight floor impact sound pressure level • Identification of low-frequency forces induced by footsteps on lightweight floors

Figura 2. 10 - Cronologia da revisão da bibliografia analisada

A CATED (Centro de Assistência Técnica e Documentação, França) lançou em 1988 o livro “Amélioration acoustique des logements”, por Ghislain Pinçon. Este, que conta com edições posteriores de 1995 e de 2001, relata estudos realizados em diversos pavimentos tradicionais em madeira, existindo um capítulo do livro destinado unicamente ao isolamento sonoro entre pisos. Possui ainda, sendo uma das suas tabelas mais divulgadas, a correlação entre o isolamento obtido a sons aéreos e a sons de percussão derivada de resultados *in situ* a 12 variantes de pavimentos, incluindo todos estes madeira na sua constituição. O que se comprova segundo esta referência bibliográfica segue o caminho que os

cálculos teóricos, que envolvem expressões relacionadas com a massa dos pavimentos, indicam: melhoria do comportamento do isolamento sonoro a sons aéreos quando aumenta a massa dos pavimentos, incluindo camadas associadas, e um melhoramento do comportamento do isolamento a sons de percussão quando se introduz materiais resilientes e separativos entre as camadas do pavimento, alcançando-se o chamado pavimento flutuante. [12]

Consolidando o referido acima acerca da inexistência de modelos teóricos de previsão eficazes e práticos, o Engenheiro Diogo Mateus tem publicado uma série de artigos que o comprovam, como é o caso de “Comportamento acústico de pavimentos (lajes) – soluções leves *versus* soluções pesadas”, na revista técnico-científica “Construção Magazine”. Ainda neste artigo, o autor publica resultados de ensaios *in situ* de isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão de pavimentos leves, sendo um desses pavimentos constituído por uma solução construtiva tradicional em madeira à exceção da camada inferior (teto) que é concretizado em gesso cartonado. No entanto, também neste artigo nos deparamos com informações relevantes que não são contabilizadas na análise ao isolamento sonoro proporcionado pelos pavimentos, como é o caso das transmissões marginais; [13] como referido em [12].

Também para a revista técnico-científica referida anteriormente, o mesmo autor escreve o artigo “Comportamento acústico de divisórias leves – Influência do material fonoabsorvente e da espessura da caixa-de-ar”. Aqui, o Engenheiro Diogo Mateus opta por mencionar a tendência atual de construir os edifícios em betão armado na sua íntegra, ou seja, tanto estruturalmente como em divisórias interiores. O que se percebe através deste artigo é que a opção por soluções aligeiradas do ponto de vista das divisórias interiores, em especial a abordagem do gesso laminado, acaba por ser acusticamente vantajosa, equivalendo o seu comportamento à estrutura equipolente em betão armado ou até sendo mesmo superior. Aliada à vantagem no domínio da acústica, surge a espessura reduzida e o peso próprio diminuído face ao betão armado.

Um outro autor português, Jorge Patrício, no livro publicado pelo mesmo, “Acústica nos Edifícios”, em 2008, também escreve acerca da tendência da substituição dos pavimentos em madeira, encontrados em edifícios de centros históricos, por exemplo, por soluções em betão armado, como é o caso das lajes aligeiradas de vigotas pré-esforçadas ou de pranchas vazadas. No entanto o autor reconhece que num futuro próximo os elementos de compartimentação horizontal em madeira poderão voltar a ser opção construtiva mais fluente, sendo que permitem manter a identidade histórica, identificativa e cultural dos edifícios em processo de reabilitação. Por outro lado, também a referência à sustentabilidade poderá colocar estes pavimentos acima das soluções em betão armado, bem como a sua ligação ao menor esforço financeiro requerido para recuperar os recursos encontrados ao invés da sua demolição e posterior construção em materiais mais correntes.

Ainda no livro, “Acústica nos Edifícios”, podemos encontrar o quadro 2.1, que indica alguns dados de pavimentos de madeira ensaiados em laboratórios de países europeus, como é o caso da França e da Holanda. Aos valores referentes a $L_{n,w}$ indicados no quadro, há ainda que adicionar o valor relativo à redução sonora, ΔL_w , proporcionada pelo revestimento de piso, quando aplicável. No que diz respeito a esta matéria há que considerar um aspeto para que o próprio autor Jorge Patrício alerta: os pavimentos em estudo, madeira, e outros como referido no quadro 2.1, aligeirados, podem conduzir a uma eficácia do revestimento menor do que a possuída por este último numa laje homogénea de betão armado, por exemplo. Torna-se importante esta consideração, pois a caracterização dos revestimentos de piso quando realizada em laboratório e segundo norma aplicável, realiza-se sobre laje homogénea de betão armado com 0.14 m de espessura, conduzindo assim a valores de redução sonora que podem não corresponder à proporcionada *in situ* sobre pavimentos aligeirados. [10]

Quadro 2.1 – Comportamento acústico de pavimentos de madeira, a sons de percussão e a sons aéreos [10]

Descrição	Isolamento, $L_{n,w}$ (dB)	Isolamento, R_w (dB)
Tabuado com 25 mm de espessura assente sobre barrote, afastados 0.60 m entre si.	90	18
Tabuado com 22 mm de espessura assente sobre barrote, afastados 0.60 m entre si, e com teto muito flexível.	85 72 ¹ 66 ²	28
Tabuado com 22 mm de espessura assente sobre barrote, afastados 0.60 m entre si, e com teto em gesso cartonado.	81 ≈68 ¹ ≈62 ²	33 ≈46 ¹ ≈43 ²
Tabuado com 22 mm de espessura assente sobre barrote, afastados 0.60 m entre si, e com teto em placas de “estafe”.	80 ≈67 ¹ ≈61 ²	35 ≈48 ¹ ≈45 ²
1 – Com lã mineral de massa específica igual a 140 kgm ⁻³ (100 mm de espessura).		
2 – Com lã mineral de massa específica igual a 70 kgm ⁻³ (100 mm de espessura).		

Ainda da autoria de Jorge Patrício, encontramos o manual de Linhas Guia intitulado de “Reabilitação Acústica” incidindo “(...) sobre princípios gerais associados à reabilitação acústica de edifícios antigos e dos respetivos espaços envolventes, tendo por base a necessidade de manter a sua memória identitária, no sentido de perpetuar a cultura do espaço urbano associado.” [14]

Especificamente no tema desenvolvido na presente dissertação, foram realizados ensaios *in situ* e comparados os resultados com modelos de cálculo teóricos por parte do Engenheiro Rogério António Miranda da Silva, na sua dissertação de mestrado levada a cabo na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto em junho de 2015. Intitulado de “Caracterização Acústica de Pavimentos da Casa Burguesa Portuense” o trabalho teve como principal foco, como o próprio nome indica, pavimentos do centro histórico da cidade do Porto, mais precisamente da Casa Burguesa. O autor concluiu que “os pavimentos em análise são capazes de verificar as exigências impostas pelo regulamento” [12], sendo que aqueles que não o conseguiam no imediato, dadas as suas condições ou estruturação, eram facilmente adaptáveis para as exigências atuais através de pequenas intervenções, pouco intrusivas. Retirou também conclusões que serviram de ponto de partida para o trabalho agora elaborado, como a falta de normas e métodos teóricos capazes de relacionar eficazmente os valores obtidos para os índices de isolamento. Rogério Miranda, refere que “em todos os casos ensaiados os resultados obtidos para os índices de isolamento dos pavimentos leves de madeira são significativamente melhores do que os obtidos através dos modelos teóricos”.

Previamente, em julho de 2010, Dóris Queirós, através da dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil – Especialização em Construções Cíveis, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, tinha concluído que “(...) a reabilitação de pavimentos tradicionais com recurso a métodos pouco intrusivos, pode assegurar comportamentos acústicos que tornam as soluções competitivas.”.

Também na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto foram apresentadas outras dissertações que abordam a Reabilitação Acústica, embora segundo perspetivas diferentes, como é o caso de “Caracterização Acústica de Edifícios Antigos – Tabique”, por Kevin da Silva Moreira em julho de 2014. Aquando da comparação por parte do autor entre valores de isolamento sonoro registados *in situ* com os obtidos através de modelos de cálculo, o mesmo nega qualquer surpresa na discrepância encontrada, justificando a mesma com base na inexistência de modelos desenvolvidos especificamente para o elemento em causa, o tabique.

Ainda no âmbito das teses e dissertações, foi defendida em março de 2013 na Escola de Engenharia da Universidade de Linnaeus, em Växjö, Suécia, a tese de doutoramento de Åsa Bolmsvik intitulada de “Structural-acoustic vibrations in wooden assemblies. Experimental modal analysis and finite element modelling.”. Neste trabalho a principal preocupação rondava a ligação piso-parede, em estruturas de madeira. Foram estudadas soluções em laboratório com o intuito de entender e modelar as transmissões marginais envolvidas. Várias modelações sob o olhar dos elementos finitos aplicado quer a ensaios *in situ* quer a ensaios laboratoriais, permitiram concluir que o método dos EF pode ser aplicado a este tipo de material, madeira, bem como à sua impregnação em compartimentação horizontal e vertical de edifícios. No entanto o autor reconhece a dimensão do trabalho que está por realizar à data de publicação da sua obra, realçando a importância dos desenvolvimentos futuros no âmbito do seu trabalho.

Numa outra perspetiva, mas não menos importantes, são diversos os artigos publicados em congressos e em revistas científicas que retratam aspetos relacionados com a madeira, a sua utilização em pavimentos e a relação estabelecida por parte da mesma com a acústica. É o caso de “Prediction of the acoustic performance of lightweight wood-based floor”, em INTER-NOISE 2015 - 44th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, de Catherine Guigou-Carter e C. Coguenanff, desenvolvido pelos autores no âmbito do projeto europeu “Silent Timber Build”. Na publicação os autores referem a complexidade de modelar sistemas e componentes que têm por base aglomerados de madeira, principalmente no que se refere a múltiplas cavidades, conexões, entre outros aspetos. No entanto os mesmos apresentam uma metodologia para modelar a força de excitação no domínio da frequência, introduzida pela máquina normalizada (ISO) de produção de sons de percussão, aspeto que Catherine Guigou-Carter e Michel Villot já revelavam em estudo na revista científica “Building Acoustics”, em setembro de 2006. Os autores referem ainda uma previsão do desempenho acústico na gama das baixas frequências abordando a modelação através do método dos elementos finitos. Já em 2013, no congresso equivalente para o ano de referência, INTER-NOISE 2013, os mesmos autores em conjunto com Christophe Desceliers e Philippe Jean, apresentavam “Acoustic performance optimization under parameter and model uncertainties of a wood based floor”, onde se referem sobretudo aos obstáculos encontrados no que diz respeito a manter a madeira como uma opção viável de construção civil na Europa, nomeadamente pela imensidão de parâmetros envolvidos e difíceis de modelar, mas também referindo a complexidade existente em manter *in situ* as exigências de projeto através das ligações difíceis de alcançar e aparelhar.

Em 2012, no volume 131 da revista científica JASA (The Journal of the Acoustical Society of America), Atsuo Hiramitsu, escrevia acerca das preocupações no que diz respeito ao isolamento sonoro proporcionado por pavimentos em madeira, aquando de um despacho promocional deste material como meio de construção a aplicar no setor público, emitido no Japão em 2010. O autor refere a perda de isolamento sonoro dos elementos de compartimentação horizontal referidos quando comparados com elementos semelhantes em betão armado. Apesar disso, com autoria do mesmo, foram realizados ensaios em laboratório contendo um pavimento flutuante associado a uma estruturação em madeira. Os resultados permitiram concluir que a densidade do material que oferece a sua superfície ao impacto influencia o desempenho de isolamento sonoro proporcionado pelo soalho flutuante. Foram realizadas

ainda comparações entre os valores registados e os consultados para uma estrutura semelhante em betão armado.

Muito recentemente, já em 2016, foram publicados dois artigos que também envolvem a acústica e pavimentos em madeira: “Effect of floor end and supporting leg position of floating floor of wood frame constluction floor on heavy-weight floor impact sound pressure level” da autoria de T. Hirota, M. Tanaka, T. Murakami, A. Hiramitsu, H. Sato e T. Sato, e ainda “Identification of low-frequency forces induced by footsteps on lightweight floors” tendo como autores N. Amiryarahmadi, W. Kropp, K. Larsson. Este último artigo da “Acta Acustica united with Acustica”, correspondente aos meses de janeiro e fevereiro de 2016, revela-se extremamente conclusivo acerca dos ruídos produzidos pelo caminhar humano sobre pavimentos em madeira. Segundo o estudo levado a cabo pelos autores, a avaliação no domínio da frequência, quer da máquina produtora de sons de percussão (ISO), quer de modelos de cálculo, deveria alcançar valores inferiores aos 20Hz, pois é aí que se concentram valores de isolamento a sons de percussão inferiores para este tipo de pavimentos leves. Ainda sob autoria dos mesmos, há a fiança de que com a introdução de estudos em gama de frequências mais baixas se conseguiria rentabilizar a aplicação deste tipo de pavimentos.

Conclui-se deste modo, pela análise da bibliografia examinada, que parte da resolução dos problemas existentes no domínio da acústica de pavimentos constituídos por madeira, passa pela criação de uma base de dados que seja sólida e fidedigna ao ponto de constituir um embarque para novos projetos tendo como base a estruturação de pavimentos tradicionais em madeira. O método dos elementos finitos (MEF) aparece como a salvaguarda para uma investigação ainda jovem e precoce que muito tem que caminhar para aperfeiçoar a modelação e previsão do comportamento acústico desta solução construtiva em específico.

Numa outra abordagem, a sustentabilidade aparece já há algum tempo como tema do dia nas mais diversas circunstâncias. A acústica não foge à regra e a temática aparece retratada, como é o caso de “Sustainability of acoustic materials and acoustic characterization of sustainable materials”, em 2005, da autoria de Victor Desarnaulds, Ezilda Costanzo, A. Carvalho e Blaise Arlaud. Retratando a sustentabilidade como um “objetivo cada vez mais significativo na avaliação e promoção de construções” para a sociedade ocidental atual, os autores apresentam uma avaliação de sustentabilidade de determinados materiais tradicionalmente usados em isolamento acústico, como é o caso da lã de vidro, lã de rocha ou lã mineral. Ainda sobre o mesmo olhar são avaliados materiais naturais e outros facilmente recicláveis ou resultado de tal processo.

Retratando todas as entranhas da acústica da madeira, surge em 2006 a segunda edição do livro de Voichita Bucur, da Springer, intitulado “Acoustics of Wood”. Neste manual encontram-se todas as propriedades acústicas de diversos tipos de madeira, incluindo algumas características importantes para desenvolvimentos teóricos, como é o caso da densidade, entre outros. Todos os aspetos acústicos, incluindo de diferentes florestações são aqui considerados.

2.4. LEGISLAÇÃO

2.4.1. PERSPETIVA EVOLUTIVA

As preocupações com o ruído não são recentes, embora se mantenham na atualidade. A 28 de Fevereiro de 2016, o Jornal de Notícias publicava uma notícia intitulada “*Mais de um milhão de portugueses expostos a ruído que afeta o sono*”. [24]

“Com base em dados da Agência Portuguesa do Ambiente (APA), além das cidades, também as grandes infraestruturas de transportes, tanto aéreas, como ferroviárias e rodoviárias, são obrigadas a elaborar

mapas estratégicos de ruído (MER), com o diagnóstico da situação, mas enquanto no primeiro caso a regra é cumprida, nos outros somente cerca de metade entregou o documento exigido.”

“As regras e os níveis aceitáveis de ruído estão estipulados por normas europeias e pela lei nacional, no Regulamento Geral do Ruído, que se baseia em valores recomendados pela Organização Mundial de Saúde, já que esta forma de poluição pode causar vários problemas.”

“Dados da Agência Europeia do Ambiente referem cerca de 20 milhões de europeus afetados pelo ruído ambiental, nomeadamente dos transportes, e serão 125 milhões, ou um em cada quatro, aqueles expostos ao barulho do tráfego automóvel, que atinge níveis superiores ao limite máximo estipulado”

“O ruído elevado tem vários efeitos na saúde, como hipertensão e doenças cardiovasculares, levando a cerca de 10 mil mortes prematuras e a 43 mil hospitalizações por ano, na Europa, segundo a entidade europeia.”

“As duas Grandes Infraestruturas de Transporte (GIT) aéreo que têm de entregar o MER - aeroportos de Lisboa e Porto - já o fizeram, mas nas GIT ferroviário, das 13 que são obrigadas, foram seis a reportar, enquanto nas GIT rodoviário, das 130 que têm essa obrigação, somente 70 cumpriram, acrescenta a APA.”

No mesmo dia de publicação da notícia anterior, a Rádio Renascença dava conta de *“Mais de um milhão de portugueses sujeitos a níveis de ruído que provocam alterações do sono”*. [25]

“Das seis cidades nacionais que deviam apresentar mapas de ruído, segundo normas europeias, só Lisboa e Oeiras cumpriram. E apenas a capital apresentou um plano de ação.”

“Doze em cada 100 portugueses estão expostos a níveis de ruído que provocam perturbações no sono, revela a Agência Portuguesa do Ambiente.”

“Esta denúncia parte da Associação Ambientalista ZERO, que vai avançar com uma queixa à Comissão Europeia, uma vez que a necessidade de ter um mapa estratégico já remonta a 2012 e a obrigação de ter um plano de ação começaria em 2013. O presidente da nova associação ecologista diz que só a capital portuguesa depois de apresentar o mapa, criou um plano de ação.”

“Até ao momento, continuam por entregar os documentos que mapeiam o ruído no Porto, na Amadora, em Matosinhos e em Odivelas.

Uma situação que preocupa os ambientalistas. “O ruído é considerado pela Organização Mundial de saúde o segundo maior problema ambiental com consequências para a saúde. Este é um problema no qual Portugal se enquadra e é tempo de uma chamada de atenção por parte da União Europeia porque já as estamos a infringir há demasiado tempo”, lamenta Francisco Ferreira.”

A legislação relacionada com a proteção contra o ruído, partindo da consciência do efeito que o mesmo provoca em pessoas e até animais, remete a sua data de implantação em Portugal para o ano de 1987, ou seja, já lá vão 29 anos.

Surge a legislação referida, primeiramente em 1987, com o DL nº 251/87, de 24 de junho, entrando em vigor apenas em 1988. Esta, estava vocacionada especialmente para a acústica de edifícios e a sua relação com o exercício de atividades comerciais. Já surgiam neste documento preocupações com a concentração e o sossego no local de trabalho, embora lhes fosse oferecida pouca importância. Por outro lado, aspetos relacionados com o isolamento sonoro a sons aéreos e de percussão eram bem retratados no que diz respeito a exigências com edifícios novos. Através do DL nº 251/87 definiam-se três zonas acústicas em função do ruído ambiente existente: pouco ruidosa, ruidosa e muito ruidosa. Perdurou esta primeira legislação por uns longos 12 anos. [26]

No ano de 2000 separa-se em Portugal a acústica de edifícios da acústica ambiental, através dos documentos: Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (DL n° 129/2002, de 11 de maio) e Regime Legal da Poluição Sonora (DL n° 292/2000, de 14 de novembro), respetivamente. [26]

Num passado ainda recente, em 2006, ocorreu a transposição para o direito interno da Diretiva Europeia acerca de Gestão e Avaliação do Ruído Ambiente, o que obrigou à adaptação de toda a legislação nacional sobre o ruído ao novo enquadramento legal, principalmente no âmbito dos indicadores de ruído. Esta transposição deu origem ao DL n° 146/2006, de 31 de julho, que tem como base fundamental a quantificação e redução do número de cidadãos expostos ao ruído nos países da Europa. Assim sendo, o regulamento de acústica referente aos edifícios sofreu alterações dando lugar ao Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), publicado no DL n° 96/2008, de 9 de junho, compreendendo desta forma a coerência entre os dois normativos. [26]

No entanto, a legislação portuguesa gira em torno de critérios de permissão do uso do solo, seja para construção de edifícios, seja para a implantação de acessibilidades ou atividades de natureza variada. Por consequência, estes critérios, têm uma base sólida na definição de zonas de uso sensível e misto, cada uma das quais com valores específicos de ruído ambiente associados. Cabe aos municípios a classificação e delimitação destas zonas, envolvendo-as nos seus instrumentos de gestão de política territorial. É com fundamentação neste propósito que cada município deve dispor do mapa de ruído das suas urbanizações, quer existentes, quer previstas, cruzando a definição administrativa de uso do solo com valores de ruído ambiente identificados através dos mapas de ruído, com o objetivo de elaborar planos de redução de ruído, com o intuito de enquadrar o ruído existente nos valores de limite máximo previstos na lei. [26]

1988	•Regulamento Geral Sobre o Ruído
2000	•Regime Legal Sobre a Poluição Sonora
2002	•Regulamento de Acústica de Edifícios
2006	•Transposição da Diretiva
2007	•Regulamento Geral do Ruído
2008	•Novo Regulamento de Acústica de Edifícios

Figura 2. 11 - Ilustração esquemática da evolução da regulamentação Portuguesa nos últimos 29 anos [adaptado [26]]

2.4.2. REGULAMENTO DOS REQUISITOS ACÚSTICOS DOS EDIFÍCIOS (RRAE)

“O Decreto-Lei n.º 129/2002, de 11 de maio, aprovou o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) que regula a vertente do conforto acústico no âmbito do regime da edificação, contribuindo para a melhoria da qualidade do ambiente acústico e para o bem-estar e saúde das populações, em articulação com o regime jurídico relativo ao ruído ambiente.” [23]

O Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios não é um conceito novo: surge em 2002 através do DL 129 de 01 de maio. No entanto o mesmo foi profundamente alterado em 2008 através do DL 96 de 09 de junho, sendo que a versão em vigor nos tempos hodiernos surge a 01 de julho do mesmo ano, abrangendo a seguinte tipologia de edifícios [6]:

- Habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras (Artigo 5º);
- Comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais (Artigo 6º);
- Escolares e similares, e de investigação (Artigo 7º);
- Hospitalares e similares (Artigo 8º);
- Recintos desportivos (Artigo 9º);
- Estações de transporte de passageiros (Artigo 10º);
- Auditórios e salas (Artigo 10º-A).

“O núcleo fundamental do RRAE é a exigência de que na elaboração dos projetos de condicionamento acústico dos edifícios abrangidos por este Regulamento sejam aplicáveis as regras sobre requisitos acústicos dos edifícios descritas dos seus artigos 5º a 10º-A (onde constam limites numéricos a diversos índices de comportamento acústico).” [6]

De 2002 para 2008, umas das grandes mudanças introduzidas no RRAE prende-se com o facto dos parâmetros tratados passarem a ser padronizados no lugar de normalizados, isto pois o compartimento recetor passou a ser referenciado por um T_0 de 0.5 s, em geral, no lugar de absorção sonora A_0 de 10 m².

É englobado também neste Regulamento um fator associado à *Incerteza da Medição* que pode ser de ± 3 dB, adicionado ao valor obtido conforme o parâmetro em causa.

Para a situação específica das fachadas, o RRAE, indica a utilização de C e C_{tr} , sendo estes termos de adaptação da NP EN ISO 717-1 a anexar ao parâmetro $D_{2m,nT,w}$ no caso da área translúcida ser superior a 60%. Por outro lado, estes termos acabam por ser úteis na adaptação de parâmetros usados noutros países como a França. [6]

Quadro 2.2 – Pequeno excerto das exigências do RRAE, em edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras [6]

Elementos Construtivos Interiores	$D_{nT,w}$ (dB) \geq	$L'_{nT,w}$ (dB) \leq
Local	**	**
Entre compartimentos (emissão) e quartos/zonas de estar, de fogos diferentes.	50	60
Entre quartos/zonas de estar (recepção) e zonas comuns de circulação (emissão).	48	60
	40 (com ascensores)	-
	50 (com garagem)	

Elementos Construtivos Interiores	$D_{nT,w}$ (dB) \geq	$L'_{nT,w}$ (dB) \leq
Local	**	**
Entre quartos/zonas de estar de fogos e locais destinados a indústria, comércio ou serviços ou diversão (emissão).	58	50
** tolerância de 3 dB para edifícios situados em zonas históricas que sejam objeto de reabilitação mantendo uso e identidade patrimonial.		

3

Parque Edificado Objeto de Estudo

3.1. INTRODUÇÃO

Os centros históricos das cidades são muitas vezes fonte de conhecimento e experiência na perspetiva da evolução que a sociedade vai sofrendo e ultrapassando em todas as áreas do saber. A nível construtivo também se denota esta fonte de conhecimento que hoje é possível encontrar efetivamente nos centros históricos. Estes surgem como local praticamente exclusivo de manifestação presente das técnicas construtivas dos nossos antepassados, associadas à arquitetura da época e aos diversos modos de construção, articulados com as diferentes regiões do país.

No entanto, apesar da riqueza deste património que é a prova viva da história por detrás de cada cidade, as exigências e necessidades dos tempos hodiernos não se compatibilizam com a construção encontrada nestes edifícios. Embora seja possível, não é prática corrente em ação de reabilitação manter as soluções construtivas encontradas, pelo que dia após dia, obra após obra, se vai perdendo um pouco da identidade, da história e da personalidade de cada edifício.

No presente capítulo pretende-se descrever as soluções construtivas genéricas encontradas nos edifícios onde se realizam os ensaios acústicos da presente dissertação, para que o leitor entenda o tipo de edifício estudado e o ambiente em que se inserem os pavimentos, elemento de estudo.

3.2. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

Na generalidade dos edifícios encontrados, confirmando a teoria do estilo de construção para a época em causa, essencialmente meados do século XIX, a construção em banda é o modo de construir mais comum. Assim, as paredes de meação são frequentes, bem como apenas duas paredes de fachada. Os edifícios cresciam essencialmente em altura, à exceção das famílias mais abastadas que detinham possibilidades para alargar as suas habitações por áreas de construção superiores.

3.2.1. PAREDES EXTERIORES

Ao nível das paredes exteriores a solução mais corrente, na época de construção dos edifícios agora analisados assentava em alvenaria de granito aparelhada, podendo esta encontrar-se à vista pelo exterior ou então rebocada e pintada. Numa outra vertente, mas mais popular, estas paredes exteriores aparecem revestidas com cerâmicos tradicionais.

Numa época anterior ao apogeu do betão armado, as paredes exteriores referidas eram elementos estruturais importantes, assumindo deste modo espessuras relevantes que variavam entre os 30 e os 80 cm.



Figura 3. 1 - Representação de edifícios em banda com paredes de fachada em alvenaria de pedra

Ainda assim, a alvenaria de granito não era solução única para este tipo de paredes, encontrando-se outros recursos igualmente utilizados, como é o caso das paredes exteriores mistas em pedra e tijolo ou em madeira e tijolo [5]. Esta última vertente, madeira e tijolo, era particularmente interessante quando a intenção recaía na construção em altura, uma vez que permitia uma redução considerável na espessura da parede. A madeira era utilizada sobretudo para formar uma espécie de gaiola, ripado, no interior do qual se colocavam tijolos maciços ou pedaços de alvenaria, sendo o preenchimento concretizado em argamassa. Quando aplicada esta solução, o revestimento exterior era comum concretizar-se em soletos de ardósia ou chapa zincada pregada ao fasquiado, esta última contendo um barramento de asfalto no tardoz, principalmente em fachadas com maior exposição ao vento e precipitação.

O lado interior destas paredes apresenta-se na sua maioria regularizado com argamassa, a qual constituía a superfície de assentamento do gesso pintado.

Como modo de ornamentação das paredes exteriores é comum encontrar cantaria envolvendo os vãos envidraçados, saliências de varandas, cunhais, cimalkhas ou cornijas (Fig. 3.1) [5].

3.2.2. PAREDES INTERIORES

No que às paredes interiores diz respeito, a solução mais encontrada no tipo de edifícios em estudo remete para o tabique. Ora, esta solução, embora apresentada como resposta a paredes exteriores, é no interior das habitações que ganha notoriedade, sobretudo sob a forma de tabique simples.



Figura 3. 2 - Parede em tabique simples

Com uma espessura reduzida, sensivelmente entre os 7 e os 10 cm, as paredes em tabique simples erguem-se segundo uma estrutura de duplo tabuado, vertical e diagonal, preparado para receber o fasquiado. Este por sua vez é constituído por régua de madeira de secção trapezoidal fixadas na perpendicular ao tabuado, constituindo assim uma base aderente para o reboco. Quando se pretendia aumentar a aderência do reboco, a lacagem da madeira surgia como uma solução viável [5].

3.2.3. COBERTURA

A cobertura do património edificado aqui referido apresenta na sua constituição o material mais utilizado nestes edifícios: madeira. O principal elemento da cobertura em madeira é a asna.

A evolução ao longo dos tempos permitiu que deixassem de se empregar os troncos das árvores na sua plena forma, para que houvesse lugar a vigas esquadriadas de madeira. Por outro lado, mas também acompanhando a evolução dos tempos, a asna simples deu lugar à asna complexa. A asna simples era constituída unicamente por uma armação simplificada de duas vigas (pernas) através das quais se permitia a pendente do telhado, travadas transversalmente por uma viga de dimensões inferiores (nível) e ligadas também a uma viga transversal (linha) que dá o apoio necessário sobre as paredes de meação. Nos finais do século XIX surgem as primeiras aplicações da asna complexa em edifícios. Esta asna é constituída igualmente por uma armação de duas vigas (pernas) ligadas a uma viga transversal (linha). A inovação surge no travamento transversal das pernas que se concretiza através das escoras e do pendural, que fazem a ligação por meio de estribos entre as pernas e a linha da asna [5].

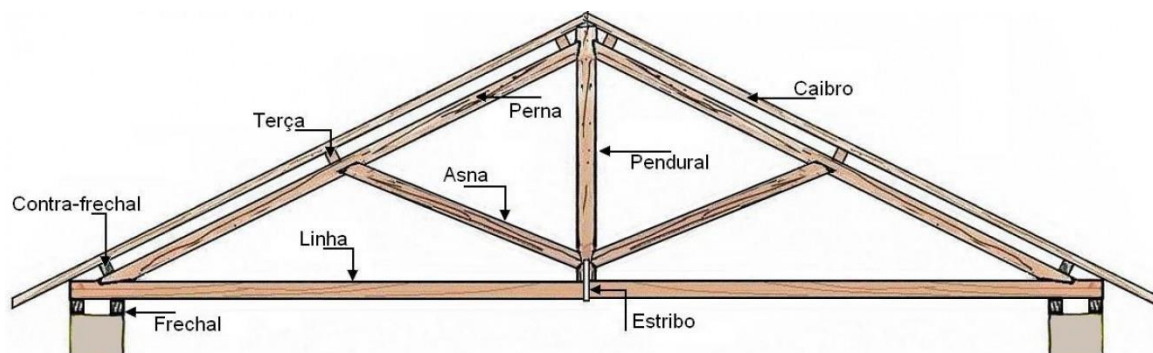


Figura 3. 3 - Asna complexa [43]

No entanto, além do travamento transversal, as coberturas necessitam do travamento longitudinal que em madeira se materializa com os frechais, as madres e a fileira. É nestes elementos que assentam as varas, o forro e a ripa que servem de suporte ao revestimento. Este último, por sua vez, recorre usualmente à telha plana, vulgarmente conhecida como a telha marselha. Conseguem-se assim coberturas com uma pendente a variar entre os 20° e os 30°, em geral, e vencendo vãos até 8 m.

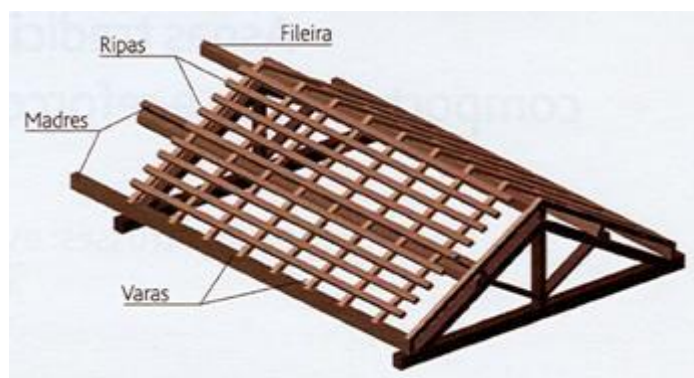


Figura 3. 4 - Travamento longitudinal em madeira [adaptado 44]

3.2.4. CLARABOIAS

Este elemento, claraboias, aparece com frequência nas coberturas dos edifícios dos centros históricos, sendo ainda hoje uma opção de vários arquitetos. A sua utilização principal recai nos tempos hodiernos, no entanto, na sua função primata de iluminação da caixa de escadas, transmitindo a luz natural a esse espaço comum entre frações ou habitações.

Na estrutura de suporte das claraboias encontram-se sobretudo armações metálicas ou em madeira, em forma circular ou elíptica, associadas ao vidro simples permeável à luz solar. Estas pequenas cúpulas nas coberturas dos edifícios acabam por lhes conferir um certo traço próprio da sua identidade.

3.2.5. VÃOS ENVIDRAÇADOS

Os vãos envidraçados são característicos dos edifícios em análise, principalmente quando se pensa nas caixilharias, em madeira ou ferro, que os suportam. Neles, o vidro surge simples, com os seus 3 a 5 mm de espessura, fixado somente com recurso a meras tachas.

Apesar da beleza e da simplicidade que o vidro simples confere em conjunto com a caixilharia, este não permite condições para o descanso no interior das habitações, visto que a resistência que proporciona face à luz solar é praticamente nula. Assim sendo, era frequente a colocação de portadas em madeira pelo lado interior da janela, ficando estas recolhidas na espessura da parede [5].

A abertura destes vãos envidraçados materializava-se por caixilhos de guilhotina ou caixilhos de batente. Nestes últimos é comum encontrar associados os lancis de soleira e os lancis de parapeito conforme se trate de uma janela de varanda ou de uma janela de peito, respetivamente (fig. 3.5).



Figura 3. 5 - Vãos envidraçados e portas típicas dos edifícios em estudo

3.2.6. PORTAS

As portas interiores, normalmente em madeira, eram constituídas por uma ou duas folhas de abrir. Era comum estas portas possuírem na sua parte superior um caixilho sustentando um vidro simples. Conseguia-se assim a iluminação destes espaços interiores com base na luz natural que atravessava os vãos e/ou a claraboia.

As portadas interiores, não diferindo em larga escala do encontrado para as restantes portas, quando abertas recolhiam em geral dentro do espaço que a parede cedia.

Relativamente às portas exteriores é de notar a sua altura em muito superior à largura. No entanto a robustez das mesmas não é questionável. Em semelhança com as portas interiores, possuindo uma ou duas folhas de abrir, estas surgem agora totalmente fechadas ou em comunhão com um pequeno caixilho servindo de suporte ao vidro, no entanto, este último aparece protegido por grades em ferro. Tal como nas portas interiores o objetivo prendia-se na iluminação do espaço destinado à entrada (Fig. 3.5) [5].

3.3. PAVIMENTOS: ELEMENTO EM ESTUDO

Os pavimentos dos edifícios em análise constituem a matéria selecionada na presente dissertação para uma abordagem específica sob o ponto de vista do comportamento acústico dos mesmos. Como tal, surge agora oportunidade para um detalhe adequado acerca das soluções construtivas encontradas, permitindo ao leitor conhecer o tipo de pavimentos que foram submetidos a estudo, bem como a composição das habitações correspondentes ao período de tempo abordado.

Todos os pavimentos em causa apresentam na sua constituição maioritariamente a madeira, sendo que as lajes em betão armado, ou composição essencialmente metálica, surgem apenas após a reabilitação dos edifícios.

3.3.1. MADEIRA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO

A madeira assume hoje um papel na construção que não lhe incumbe metade da importância outrora representada, não só pelo surgimento de novos materiais de construção, mas também pela inovação despontada no que a materiais leves e fáceis de trabalhar diz respeito.

De facto, na época de construção dos edifícios aqui mencionados, a madeira era o material de construção elegido por excelência. Não só surgia como material fácil de trabalhar, como apresentava uma ótima relação entre a resistência que oferecia às ações atuantes e o peso que lhe correspondia. Ainda nos tempos hodiernos esta correspondência surge como uma vantagem a apontar à madeira enquanto recurso para a construção.

Por outro lado, apresenta-se a sustentabilidade associada a este recurso natural que não pode ser questionada. Se por um lado as árvores são autênticas purificadoras do meio ambiente, consumindo o dióxido de carbono e libertando o oxigênio necessário à sobrevivência orgânica, por outro lado, praticamente todas as partes da árvore, sendo a espécie um fator condicionante neste sentido, são reutilizáveis. É legítimo, nos tempos que decorrem, em que a construção sustentável surge na ordem do dia, repensar a plantação de espécies de árvores de rápido e médio crescimento para uma utilização de novo mais intensiva na construção. Sem dúvida que o abate descontrolado não torna a madeira num recurso renovável, mas antes o abate das árvores controlado por uma replantação orientada e gerida.

Esteticamente a madeira proporciona a beleza que hoje se encontra nos centros históricos das cidades, mais que não seja no interior do património edificado. A variedade de espécies existentes bem como as diferentes tonalidades, que aumentam ainda mais quando abordamos a gama dos vernizes e acabamentos existentes, tornam a construção em madeira numa verdadeira obra de arte que vale a pena apreciar.

Um outro aspeto extraordinário da construção em madeira prende-se com a sua durabilidade. A humidade associada a períodos de secagem é um fator degradante e agressivo para a madeira, dependendo do seu tipo e do acabamento que lhe foi conferido. No entanto, quando se denota um cuidado na preservação da madeira em construções antigas, como é o caso dos edifícios retratados, e que não vai além do tratamento das humidades no interior das habitações, os pavimentos, as escadas, as coberturas e os tetos, apresentam hoje uma condição que pouco difere da condição de implantação em obra há dezenas, ou mesmo centenas, de anos atrás.

Por último, e contrariando o pensamento corrente no lado menos informado da sociedade, a madeira apresenta uma resistência ao fogo considerável e satisfatória para um grau de exigência elevado. Além deste aspeto, as partes não afetadas pelo fogo após um incêndio, por exemplo, são perfeitamente adaptadas a novas soluções pois veem as suas características praticamente inalteradas.

Percebe-se deste modo a opção pela madeira como constituição dos pavimentos no tempo de construção dos edifícios estudados, mas que se mantém ainda como uma solução válida para construções dos dias de hoje. De facto, a resistência e durabilidade, deste tipo de pavimentos, quer a nível estrutural, quer como modo de revestimento, é verdadeiramente excecional e admirável.

3.3.2. TIPOS DE MADEIRA UTILIZADOS EM PAVIMENTOS

As madeiras utilizadas em pavimentos são em geral madeiras maciças. Esta preferência comum deriva do facto das madeiras maciças não apresentarem qualquer tipo de colagem, eliminando assim a hipótese de junção de diferentes tipos de madeira com características próprias distintas. Quando se trata de revestimentos este aspeto não ganha tanta importância como no caso dos elementos estruturais, onde importa garantir sem a mínima dúvida as propriedades resistentes dos materiais.

As madeiras maciças são processadas tendo origem no tronco da árvore, podendo dar origem a toros (elementos redondos) ou a vigas (madeira serrada) [27].

As diferentes espécies de madeira mais utilizadas em pavimentos dos edifícios em causa são:

Quadro 3. 1 - Diferentes espécies de madeira e as suas principais características, adaptado [27]

Espécie	Características
Carvalho - <i>Quercus Spp</i>	Resistência e durabilidade elevadas Massa volúmica elevada
Castanho – <i>Castanea sativa Mill</i>	Elevada durabilidade Massa volúmica relativamente baixa Fácil de trabalhar
Pinho Bravo – <i>Pinus Pinaster Aip</i>	Muito abundante Fácil de trabalhar Muitos nós, fendilhando facilmente Suscetível a ataques bióticos
Pinho Manso – <i>Pinus Pinea</i>	Muito parecida com o Pinho Bravo Menos nós e esteticamente mais atraente

3.3.3. CONSTITUIÇÃO DOS PAVIMENTOS EM MADEIRA

Utilizando as diversas espécies de madeira existentes (3.3.2.), é possível recriar os pavimentos que encontramos em edifícios de meados e finais do século XIX. A estrutura resistente deste tipo de elementos de compartimentação horizontal, assenta essencialmente em vigamentos principais dispostos paralelamente entre si e travados com recurso a tarugos. No entanto, o soalho, as cadeias e os tetos estucados, são também elementos próprios e característicos deste tipo de pavimentos. Em seguida apresenta-se uma descrição mais detalhada desta constituição.

3.3.3.1. Vigamento

Em edifícios antigos, em geral anteriores ao início do século XX, o vigamento dos pavimentos era pouco trabalhado, tendo em conta a maquinaria e mão-de-obra da época. Normalmente para este período remetem-se os vigamentos constituídos por toros, flanqueados em regra em uma ou duas faces de modo a facilitar apenas o assentamento do soalho e do teto, com um diâmetro a variar na gama dos 20 a 30 cm, em função do vão a vencer. Dada a ausência neste período cronológico de avanços significativos, sólidos e credíveis, no que ao cálculo estrutural de pavimentos em madeira diz respeito, estes toros apresentam em geral um comprimento que não vai além dos 4 a 7 m [27].

No início do século XX surgem as vigas de madeira em secção retangular, em geral com 8 a 12 cm de altura por 20 a 25 cm de largura permanecendo até aos dias correntes como a forma mais usual e mais solicitada.



Figura 3. 6 - Vigas de madeira em secção retangular (esquerda) e toros de madeira (direita) [45]

O afastamento mais comum neste tipo de solução estrutural não avança mais do que um intervalo compreendido entre os 40 e os 70 cm (em relação ao eixo das vigas), sendo que por razões estruturais, de apoio e segurança, é comum o aparecimento de uma viga com afastamento inferior, mas junto à parede. Quando os vãos aumentavam significativamente e havia a necessidade de recorrer a uma estruturação mais consolidada, aplicava-se sobretudo um vigamento perpendicular ao vigamento principal, mas que sendo bem apoiado dispensava a existência de uma parede de alvenaria resistente. Também com o intuito de reforçar estes elementos, surge a partir do século XIX o recurso a elementos metálicos em ferro [27].

A entrega das vigas de madeira ocorria nas paredes de alvenaria, sendo que a única variante era a profundidade de penetração desta mesma entrega. Pelo lado da segurança esta penetração alcança, na maioria dos casos, pelo menos 2/3 da espessura da parede, havendo ainda exceções em que a profundidade de entrega era mesmo igual ou superior à espessura da alvenaria. No entanto, se por um lado o sentimento de segurança e responsabilidade no trabalho efetuado aumentavam com o aumento da profundidade de entrega das vigas, por outro lado, a exposição das mesmas às condições ambientais externas e a fatores agressivos para a madeira, nomeadamente os bióticos, também aumentava em igual escala. Assim sendo, surgia a necessidade de prevenir a degradação destes pontos de apoio, conscientes da extrema importância a nível estrutural que estes locais específicos representam. É neste âmbito que surgem as aplicações de cortiça nas extremidades dos toros ou vigas, de tintas de óleo, alcatrão ou mesmo zarcão (primário anticorrosivo à base de resinas e outros pigmentos, sendo aplicado essencialmente para proteção dos elementos em ferro) [27].



Figura 3. 7 - Extremidade de um toro com tratamento preventivo (Costa et al., 2007) [11]

No sentido de facilitar o apoio destes vigamentos é usual o recurso a elementos metálicos que surgiam pelo lado exterior da parede, ou então em forma de esquadro, formando um ângulo de 90° e penetrando o núcleo interior da alvenaria. Permitindo o reforço das entregas do vigamento, era usual colocar-se elementos em alvenaria de pedra ou em madeira, embutidos nas paredes de alvenaria. A aplicação de cachorros em pedra nestas paredes permitia recuar a entrega para o lado interior do edificado, diminuindo deste modo a exposição a ambientes agressivos da madeira, como fora referido acima.

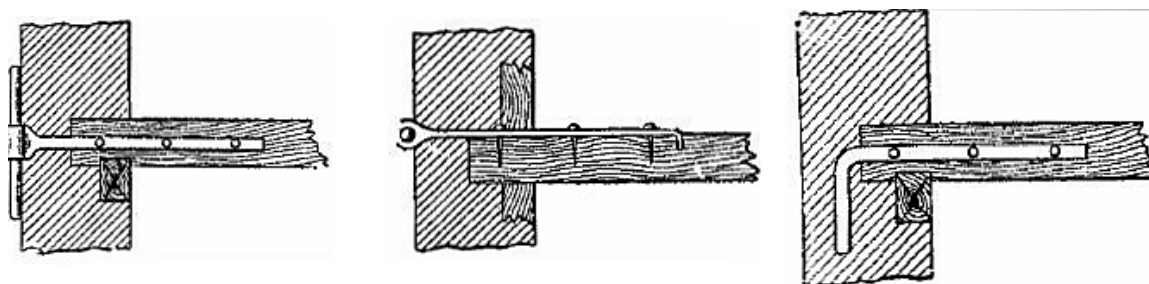


Figura 3. 8 - Elementos metálicos de ligação exterior ou em "esquadro" (Segurado, 1942) [11]

Verifica-se nesta descrição que a preocupação com a deformação pontual ou prolongada dos pavimentos era já neste tempo alvo de análise e preocupações. Conclui-se ainda que a intuição e o espírito do engenho da arte, aliados à experiência, eram os melhores conselheiros para um pavimento seguro, livre de agentes degradantes e de deformações indesejadas, suportando maiores cargas e permitindo as diversas utilizações necessárias.

3.3.3.2. Tarugamento

O tarugamento consiste nos tempos hodiernos em elementos de secção, em geral, menor que a das vigas, e colocados na perpendicular ao vigamento. Os principais objetivos da aplicação do tarugamento consistem na redução das secções das vigas, bem como na redução do efeito de bambeamento, uma vez que com a funcionalidade dos tarugos, as vigas trabalham em conjunto e não individualmente em função do ponto de aplicação da carga atuante. Consegue-se ainda um efeito de contra flecha no pavimento quando se aplicam tarugos, embora este efeito possa surgir em demasia e danificar as paredes se não for pensada e estudada a aplicação destes elementos [27].

Existem, de acordo com Costa, 1955, referenciado por Luís Costa em 2009 [27], três tipos de tarugamento, sendo que aquele que se encontra presente na maioria dos edifícios do século XIX é sobretudo o tarugamento simples:

- Tarugamento simples – neste, os tarugos com comprimento correspondente ao afastamento entre vigas, são colocados de baixo para cima e fixados ao vigamento com recurso a pregos. Têm em geral uma secção igual à das vigas;
- Tarugamento de cruzeta – para a concretização deste tarugamento são preparadas pequenas aberturas nas vigas para a receção dos tarugos. Estes por sua vez, de forma cruzada (dois) apoiam na parte superior de uma viga e na parte inferior de outra, formando a imagem que dá origem ao nome cruzeta;
- Tarugamento entalonado – este, é de todos os anteriores, aquele que dá origem a um sistema mais rígido, complexo e robusto. Neste tarugamento abrem-se previamente entalhes nas vigas que servem de apoio aos tarugos, que tendo umas orelhas preparadas para o efeito, ficam embutidos nas anteriores com base na compressão. A coesão fica assim garantida à partida, no entanto é usual a colocação de pregos que fortalecem as ligações. A única desvantagem associada a este tarugamento incide apenas no risco de diminuição da secção dos tarugos por secagem.

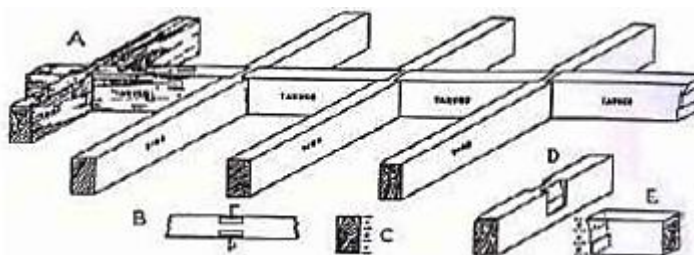


Figura 3. 9 - Esquema de tarugamento entalonado (Costa, 1955) [11]

Em ambos os tipos de tarugamento o afastamento em regra aplicado não oscila de forma significativa além de 1.5 m.

3.3.3.3. Cadeias

Aquando do desenvolvimento de um determinado sistema construtivo num edificado aleatório, é certo o aparecimento de impedimentos da continuidade da construção, não sendo os elementos de compartimentação horizontal uma exceção à regra. De facto, pela existência de caixa de escadas, ou por a obrigatoriedade de passagem para uma chaminé, ou ainda por um outro motivo como coretes, eram diversas as situações em que era necessário interromper a continuidade dos vigamentos dos pavimentos. É neste contexto que surgem as cadeias, como modo de resolução do problema inicial.

De facto, as cadeias permitem a ultrapassagem de diversos obstáculos nos pavimentos, sendo vigas perpendiculares ao vigamento principal e que ficam encastradas neste. Apoando em vigas de secção superior, as cadeias conseguem transmitir as cargas contínuas que recebem transformando-as em cargas concentradas. Assim sendo, evita-se a transmissão de cargas a pisos inferiores que normalmente apresentam as divisórias em soluções leves, como o tabique, não se encontrando estas preparadas para o suporte de cargas concentradas [27].

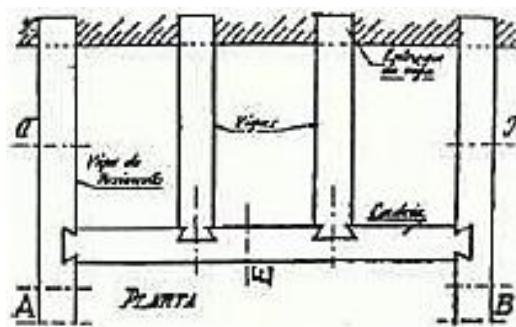


Figura 3. 10 - Esquema de uma cadeia (Costa, 1955) [11]

Quando as vigas que é necessário interromper se dispõem paralelamente à parede, surgem duas cadeias laterais onde encaixam as vigas. Se forem reduzidas ao máximo as folgas existentes nas cadeias e maximizada a eficácia dos entalhes nas vigas, através de uma correta e cuidada execução, garante-se através desta tecnologia construtiva um excelente travamento estrutural. Ainda nos tempos correntes esta solução se torna viável quando se utiliza a madeira como material de construção em elementos de compartimentação horizontal.

3.3.3.4. Soalhos

Em geral, o revestimento superior dos pavimentos em madeira, quer o encontrado nos edifícios agora estudados, quer o aplicado nos tempos hodiernos, remete para o soalho. No entanto esta não é uma solução única, uma vez que abre horizontes para um espectro de variedades de madeira e formas, gigantesco.

Uma das variantes mais alargada nos soalhos é o modo de ligação entre as placas de madeira [27]:

- Junta;
- Macho-fêmea;
- Chanfro;
- Meio-fio.

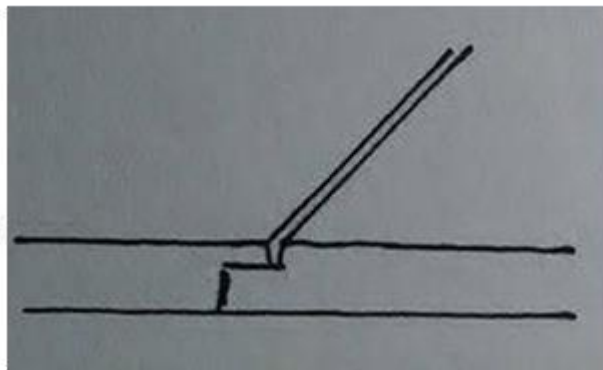
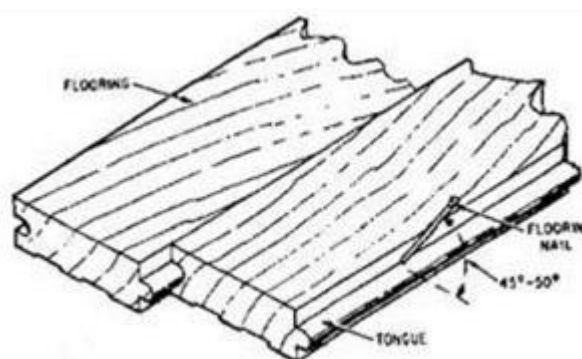


Figura 3. 11 - Ligação macho-fêmea (esquerda) e meio-fio (direita) [11]

Nos edifícios antigos de Portugal, presentes nos diversos centros históricos um pouco por todo o país, o tipo de ligação entre tábuas de madeira mais comum é o de macho-fêmea. Este modo de ligação entre as diferentes placas de madeira permite que o prego fixador seja colocado no macho, onde posteriormente encaixa a fêmea ocultando o mesmo (fig. 3.11), sendo assim vantajoso relativamente aos outros métodos.

A espessura do soalho é uma das várias variantes, podendo oscilar entre os 2.5 e os 5 cm, sendo certo que ao longo do século XIX em diante a espessura tende a diminuir. A largura encontrada pode variar entre os 12 e os 30 cm, atingindo por vezes comprimentos que rondam os 10 m [5].

O acabamento concedido a este tipo de revestimento era aplicado de modo manual, sendo afagado no sentido de assegurar a uniformidade da superfície para posterior enceração, aumentando assim as chances de preservação e conservação do estado inicial dos soalhos [12].

3.3.3.5. Tetos

O soalho, tal como referido em 3.3.3.4., era a solução mais corrente como modo de revestir superiormente o pavimento em madeira. No entanto estes pavimentos eram também revestidos inferiormente, dando origem aos tetos.

Quanto a estes, a solução mais encontrada em edifícios do século XIX em diante, diz respeito ao forro seguido de argamassa e remate em estuque. O forro é constituído por ripas trapezoidais de madeira, de pequena dimensão, denominadas de fasquio, que se dispõem em forma de grelha, fixadas através de pregos ao vigamento principal. É esta grelha, com abertura variável, mas raramente superior aos 5 cm, que serve de suporte ao enchimento com argamassa e posterior remate com estuque. São ainda vários os casos em que o enchimento surge também em estuque. Por vezes, quando o vigamento ainda se apresentava irregular (toros), era usual a colocação de pequenos barrote de madeira de forma a uniformizar a superfície de aplicação do fasquiado.

Em salas de uso nobre, era frequente ornamentar os tetos em estuque, sendo este facilmente moldável, com molduras em todo o perímetro e por vezes também no centro, junto dos candeeiros ou outras decorações. Estes tetos estucados assumem alguma complexidade, nomeadamente ao nível do fasquiado, quando a base é curva, representando tetos com concavidades que normalmente se distinguem pela beleza.



Figura 3. 12 - Teto estucado e ornamentado (esquerda) e moldura em estuque (direita) [46 e 47]

Um outro modo de revestir os pavimentos aparecia sob a forma de pranchas de madeira sobrepostas, associado a um período anterior, nomeadamente até finais do século XVIII. Estas assumem um aspeto e acabamento simplificado quando comparadas com os tetos estucados, no entanto, como era usual as pranchas de madeira estarem associadas a molduras em torno de todo o perímetro do compartimento, a estrutura de suporte ganha nestas zonas maior complexidade. As áreas correspondentes a caixas de escadas aparecem denotadas como de maior dificuldade em termos de acabamento, associadas a um aumento da complexidade estrutural ao nível do suporte [11].

3.3.4. PAVIMENTOS EM MADEIRA E A RELAÇÃO HISTÓRICA COM A ACÚSTICA

Várias foram as vezes em que já se referiu na presente dissertação a importância crescente que a acústica tem revelado entre a sociedade, quer como preocupação sob o ponto de vista ambiental, quer como preocupação de todos nós, cidadãos poluentes e ruidosos, que a cada dia tomamos consciência da relevância da acústica para a saúde humana. No entanto, esta preocupação não é recente, não nasceu nos dias correntes e o mesmo se comprova com o verificar de medidas tomadas já durante o século XIX.

Embora a preocupação durante este período temporal não fosse tanto o problema que o ruído traduz para a saúde humana, porque de facto a poluição sonora era sem duvida menor, mas o bem-estar, as condições de dignidade e conforto já se faziam sentir. Jorge Mascarenhas, através de uma *Descrição Ilustrada e Detalhada de Processos Construtivos Utilizados Correntemente em Portugal* [11], alerta para a presença em edifícios antigos com pavimentos em madeira, de uma camada de areia fina sob o teto em prancha de madeira, de modo a reduzir a condução dos ruídos aéreos. Também com a intenção de atenuar a transmissão de ruído, as tábuas do soalho eram assentes sobre pequenas ripas pregadas sobre as vigas.

Assim sendo, mesmo não sendo as medidas mais expressivas de melhoramento do comportamento acústico dos pavimentos em madeira, através das intervenções descritas datadas do século XIX, comprova-se a preocupação remota com esta temática. Nos tempos hodiernos, o presente trabalho dá continuidade ao desenvolvimento do assunto que prende a acústica aos pavimentos, certo o autor de que muito se pode fazer ainda para melhorar o comportamento deste tipo de elementos de compartimentação horizontal.

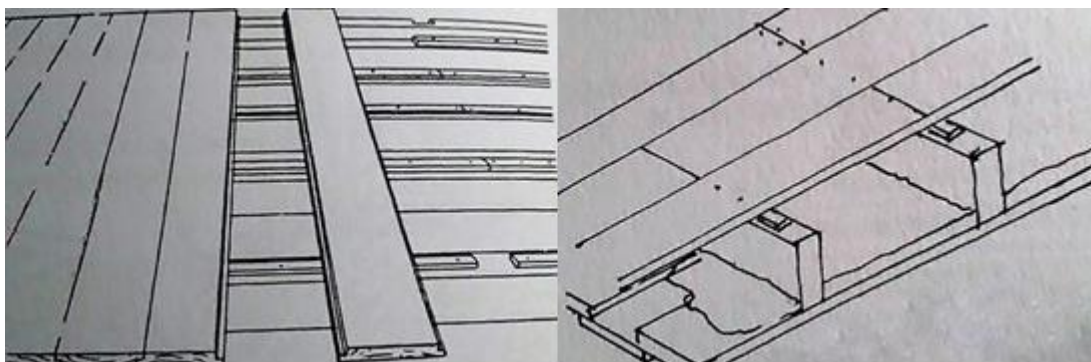


Figura 3. 13 - Réguas de madeira sob o soalho (esquerda) e camada de areia fina sob o teto (direita) [11]

4

DESCRIÇÃO NORMATIVA E DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

4.1. INTRODUÇÃO

A legislação, entre avanços e recuos que vão marcando o tema, é a base por detrás de qualquer meio de comparação que se pretenda uniforme e credível. Assim o é com a acústica de edifícios e como tal, no presente capítulo, pretende-se que o leitor fique a par da documentação normativa utilizada no trabalho descrito, uma vez que são diversas as ocasiões em que se recorre ao suporte normativo, quer seja para a realização coerente de ensaios *in situ*, quer seja para a realização dos mesmos em laboratório (neste caso, em câmaras reverberantes).

Por outro lado, no seguimento do protocolo normativo para a realização dos ensaios, espera-se que ao ler este capítulo o leitor entenda o procedimento levado a cabo, bem como as condições que implicam algumas generalidades e restrições nos ensaios *in situ*. Nestes, são diversos os casos em que os técnicos que manipulam os equipamentos de medição do nível de pressão sonora, as fontes sonoras, entre outros, têm de prestar atenção redobrada a pequenos aspetos que influenciam de forma considerável os resultados obtidos. Estes últimos serão posteriormente comparados com modelos de cálculo teóricos e ensaios laboratoriais.

4.2. LOCALIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS

Os edifícios utilizados no presente trabalho para a realização dos ensaios acústicos (sons aéreos e sons de percussão) dos pavimentos, localizam-se essencialmente no centro histórico da cidade de Amarante. Pertencente ao distrito do Porto, a cidade situa-se a uns 60 km da capital de distrito, possuindo a zona ribeirinha junto ao rio Tâmega, a qual se caracteriza com uma beleza indescritível. É precisamente nesta zona que se situam alguns dos edifícios analisados.

Não obstante, o principal critério levado a cabo pelo autor na seleção dos edifícios para a realização dos ensaios acústicos prendeu-se, única e exclusivamente, com o manter da solução construtiva ao nível dos pavimentos. Isto é, desde que a solução instalada ao nível dos pavimentos em madeira corresponde-se à descrita no capítulo 3, *Parque Edificado Objeto de Estudo*, qualquer edifício poderia ser alvo de análise.

Assim sendo, houve a possibilidade de alargar a zona de foco para a realização de ensaios, tendo sido realizado o primeiro ensaio geral, que permitiu a determinação do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea e o equipolente para sons de percussão do pavimento em estudo, na cidade do Porto

sob a coordenação da Engenheira Civil Dóris Queirós. Este mesmo serviu de demonstração para o autor, que posteriormente realizou autonomamente os restantes ensaios.

Também com base no motivo acima referido, foi possível o afastamento da zona ribeirinha da cidade de Amarante (Arquinho), para a realização de ensaios em edifícios que foram disponibilizados para o estudo pretendido.

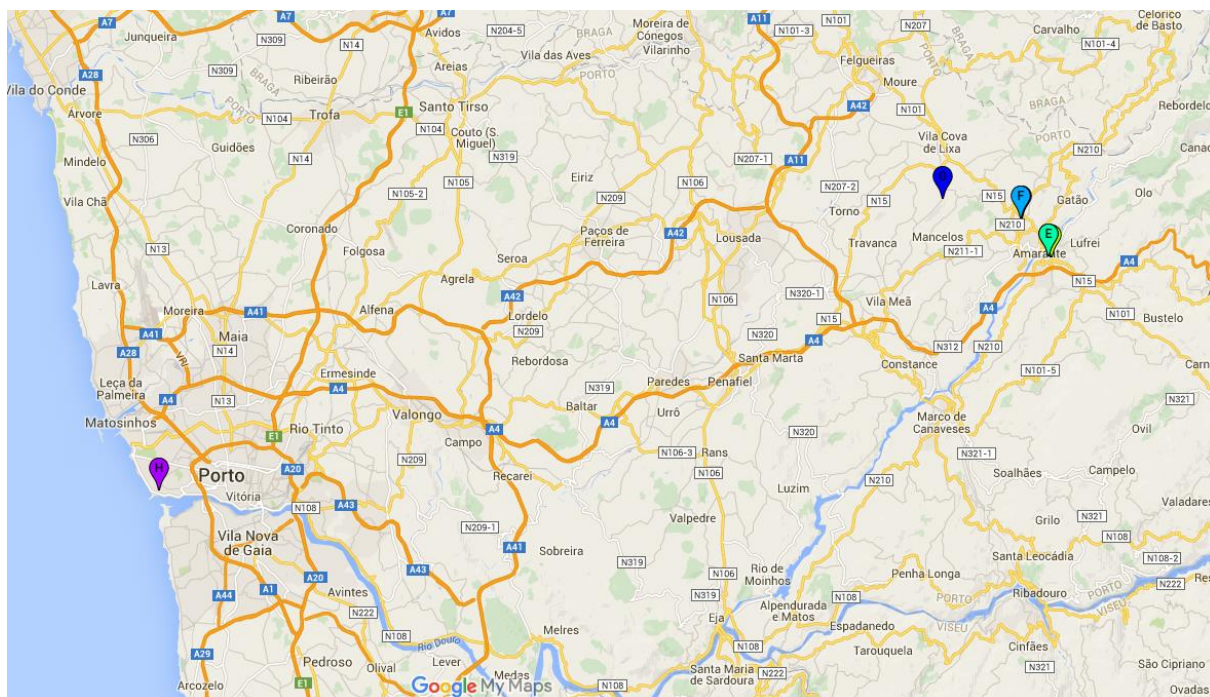


Figura 4. 1 - Localização geográfica dos edifícios utilizados para ensaio acústico dos pavimentos em madeira [com recurso ao Google Maps]

4.3. MEDIÇÕES *IN SITU*

4.3.1. GENERALIDADES

Os ensaios realizados em pavimentos em madeira seguiram, naturalmente, a norma que os confere como comparáveis com ensaios realizados anteriormente, ensaios realizados no âmbito do presente trabalho em laboratório (câmara reverberante) e ensaios que possam vir a desenvolver-se num futuro próximo. Sem o seguimento das normas disponíveis a credibilidade dos ensaios acústicos realizados poderia ser posta em causa facilmente. Uma vez que se seguiram as normas em vigor, os resultados por mais que se distanciem do esperado inicialmente, são fruto do procedimento que é do conhecimento de qualquer cidadão interessado na matéria.

Deste modo, apresenta-se de seguida uma descrição genérica dos procedimentos normativos utilizados na realização dos ensaios *in situ* para sons aéreos e para sons de percussão. O procedimento é repetido em todos os pavimentos ensaiados dos diferentes edifícios, exceto quando algo impede essa mesma rotina. Se for esse o caso, aquando da descrição do edifício e das notas relevantes acerca do mesmo (a partir de 4.3.3.) é mencionada a alteração que foi necessário introduzir, justificando a mesma devidamente.

4.3.1.1. Sons Aéreos

Para a realização de ensaios acústicos tendo em vista a obtenção do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea dos pavimentos em madeira, foi utilizada a Norma Portuguesa NP EN ISO 16283-1 de fevereiro de 2014 (*Medição in situ do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção; Parte 1: Isolamento a sons de condução aérea*). Esta por sua vez substitui as EN ISO 140-14:2004, EN ISO 140-4; 140-5 e 140-7 de 1998.

A norma referida é válida para compartimentos com volume compreendido entre 10 m³ e 250 m³ na gama de frequências entre 50 Hz e os 5000 Hz.

De modo resumido, o procedimento trata de criar um campo sonoro com recurso a um ruído branco (ver capítulo 2, ponto 2.2.3.4.), de 100 dB na fonte (este valor deve ser confirmado com o sonómetro antes do início de qualquer ensaio), no compartimento emissor, registando em ambos os compartimentos, emissor e recetor, o nível de pressão sonora. Uma vez que foi utilizada apenas uma fonte sonora (altifalante), esta foi colocada em duas posições no compartimento emissor, com o objetivo de criar um campo sonoro difuso e envolvente de todo o volume da divisão.

Para cada uma das duas posições da fonte sonora no compartimento emissor, regista-se no compartimento recetor, em cinco pontos aleatórios, de preferência não alinhados e respeitando as distâncias da envolvente que a norma indica, a pressão sonora recebida. De modo idêntico no compartimento emissor registam-se cinco medições do nível de pressão sonora para cada posição do altifalante. Cada registo do nível de pressão sonora engloba um tempo de medição de 15 segundos. Este tempo de medição é mais importante numa frequência do que noutras, no entanto o tempo de 15 segundos satisfaz os requisitos para toda a gama de frequências estudada (100 Hz e 3150 Hz).

Perante o ruído de fundo existente no compartimento recetor, seja este mais ou menos intenso, existe uma correção posterior, ao nível do cálculo, que leva ao registo de cinco medições do nível de pressão sonora sem qualquer fonte a atuar. Esta correção é feita no domínio da frequência e só se aplica para situações em que o nível de pressão sonora registado aquando da emissão por parte do altifalante, não seja suficientemente acima do nível de pressão sonora registado perante o ruído de fundo (no compartimento recetor).

De modo a completar o ensaio, é ainda necessária a medição do tempo de reverberação do compartimento recetor (recomenda-se a leitura do ponto 2.2.3.3. do capítulo 2). Neste sentido como fonte sonora utiliza-se o rebentamento de balões de ar, permitindo o registo do decaimento necessário acima do ruído de fundo. A norma indica que o número mínimo de medições é de seis, tendo-se recorrido para tal a três posições fixas do microfone (sonómetro) que correspondem a três posições fixas da fonte sonora (rebentamento do balão), registando-se duas medições em cada posição da fonte sonora.

Com a recolha das medições acima descritas, após tratamento de dados, cálculos e com o apoio da Norma Portuguesa NP EN ISO 717-1 de março de 2013, conforme se analisará posteriormente em capítulo reservado apenas para cálculos e procedimento teórico, consegue-se obter o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do pavimento em causa.

4.3.1.2. Sons de Percussão

De modo a apoiar a realização dos ensaios acústicos, levados a cabo com o intuito de determinar o isolamento sonoro a sons de percussão dos pavimentos em madeira, recorreu-se à Norma Portuguesa NP EN ISO 16283-2 de novembro de 2015 (*Medição in situ do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção; Parte 2: Isolamento a sons de percussão*).

Simplificadamente o método utilizado/normalizado consiste em colocar no compartimento emissor a máquina de percussão, que estando calibrada provoca um ruído padronizado e conhecido, sendo registado no compartimento recetor o nível de pressão sonora. Uma vez que apenas se dispõe de uma máquina de percussão, de modo a aumentar a credibilidade dos dados obtidos, bem como a uniformização do ensaio, a mesma é colocada em duas posições distintas do pavimento e preferencialmente suficientemente afastadas. No que diz respeito a estas duas posições da máquina de percussão no pavimento em madeira, em ambas o alinhamento dos martelos da máquina deve perfazer um ângulo de 45° com a orientação das nervuras ou das vigas, segundo a norma.

Todo o restante procedimento é semelhante ao preconizado nos ensaios para a determinação do isolamento sonoro dos pavimentos a sons de condução aérea, pelo que se aconselha a leitura do ponto anterior 4.3.1.1. A única diferença significativa está presente nos cinco registos do nível de pressão sonora no compartimento emissor para cada uma das posições da fonte sonora, que para os sons de percussão, não se realizam. Registam-se assim apenas cinco medições do nível de pressão sonora, para cada posição da máquina de percussão, no compartimento recetor. No que diz respeito à correção devido ao ruído de fundo esta também existe, bem como o tempo de reverberação, pelo que são medições necessárias e iguais às realizadas para sons aéreos.

Importa salientar que quando se realizam ambos os ensaios acústicos, sons aéreos e de percussão, no mesmo pavimento, as medições do nível de pressão sonora para o ruído de fundo, bem como o tempo de reverberação, apenas se efetuam uma vez. São registos necessários e auxiliares ao nível do cálculo posterior, por frequência, do isolamento sonoro do pavimento em causa, mas que como se compreende dispensam a sua medição repetida num curto espaço de tempo e para as mesmas condições em estudo.

Também para os sons de percussão, há necessidade de recurso à Norma Portuguesa NP EN ISO 717-2 de março de 2013, para a determinação do índice de isolamento sonoro a sons de percussão. Com os dados obtidos através das medições *in situ* em conjugação com as orientações da norma agora referida, consegue-se obter o índice caracterizador do isolamento sonoro dos pavimentos analisados.

4.3.2. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Para a concretização dos ensaios acústicos *in situ*, referidos acima, é necessária a utilização de equipamentos técnicos, específicos, que respeitem as condições impostas pelas normas em vigor. No presente caso as próprias normas que descrevem o procedimento do ensaio e que foram mencionadas acima, possuem anexos destinados às especificações dos equipamentos a utilizar, bem como a sua manutenção no que à calibração diz respeito, entre outros fatores. Assim sendo, antes de utilizar os equipamentos é essencial verificar a rotulagem que remete para a calibração dos mesmos, bem como o cumprimento das exigências necessárias por parte destes.

No presente trabalho utilizaram-se os equipamentos mencionados no quadro 4.1. O sonómetro mencionado foi o utilizado para a medição do nível de pressão sonora tanto no compartimento emissor como no compartimento recetor com a fonte sonora em funcionamento, para o registo do ruído de fundo e ainda para a determinação do tempo de reverberação. Dada a memória reduzida do sonómetro para armazenamento de dados, foi utilizado um computador portátil com o software próprio do sonómetro em causa para a transferência de alguns registos durante a realização dos ensaios.

Quadro 4. 1 - Equipamentos utilizados nos ensaios acústicos *in situ*

Equipamento	Descrição
Fonte Sonora	EON 15 G2 [JBL]
Máquina de Percussão	Normalizada, type 3204 [Brüel & Kjaer]
Sonómetro	SOLO [01 dB – Metrovib]



Figura 4. 2 – Máquina de percussão (esquerda) e sonómetro (direita)



Figura 4. 3 - Fonte sonora utilizada

4.3.3. EDIFÍCIO RUA PARAÍSO DA FOZ

Tal como mencionado em 4.2. *Localização dos Edifícios*, este foi o primeiro local de realização dos ensaios acústicos em pavimentos. Trata-se de um edifício situado na Foz, na cidade do Porto, na periferia da Universidade Católica do Porto.



Figura 4. 4 – Edifício em estudo (esquerda) e pormenor do edifício em estudo (janela em guilhotina, direita)

Foi ensaiado apenas um pavimento do edifício que apresenta três pisos elevados, uma vez que se encontra em funcionamento serviços ao nível do rés-do-chão, e ainda tendo em conta a habitabilidade do edificado, no sentido de incomodar o mínimo possível os proprietários que se encontravam presentes nas suas rotinas diárias.

O edificado apresenta paredes em alvenaria de pedra em toda a envolvente (fachadas), estando as divisórias interiores concretizadas em tabique simples.

Ao nível dos pavimentos, ainda se encontra presente a solução original, estando esta no geral em perfeitas condições de funcionamento, o que permite a habitabilidade do espaço sem qualquer limitação no que diz respeito a estes elementos de compartimentação horizontal. Os mesmos apresentam na sua estrutura resistente toros de madeira flanqueados, travados por tarugos, sendo estes toros de menores dimensões. Superiormente o revestimento dos pavimentos é constituído por soalho com ligação macho-fêmea, enquanto que os tetos estão materializados em fasquiado, apresentando elementos decorativos em estuque, como aliás era tradição na época de construção do edifício em causa.

Os ensaios a sons aéreos e a sons de percussão decorreram com a regularidade esperada, cumprindo todas as especificações normalizadas que podem ser lembradas em 4.3.1. O ensaio ocorreu num pavimento (14 m²) que separa a sala de estar do 2º andar (compartimento recetor) de um quarto do 3º andar (compartimento emissor), possuindo estes 62 m³ e 43.4 m³, respetivamente.



Figura 4. 5 - Compartimento emissor à esquerda e compartimento recetor à direita

Por uma questão de transparência daquilo que foi observado nos locais de ensaio, há a registar ao nível do teto em estuque uma fissura que abrange toda a largura da sala de estar, embora esta seja de dimensões reduzidas (entre 1 e 2 mm), e não influencie de modo significativo as medições efetuadas.

4.3.4. EDIFÍCIO RUA DA NORA

O edifício em causa está localizado na freguesia de Figueiró, pertencente à cidade de Amarante, embora um pouco afastada do centro desta. Possuindo as características construtivas que se pretendem avaliar ao nível dos pavimentos, e encontrando-se desde a data de construção unicamente destinado a habitação, o edificado foi totalmente disponibilizado para a realização dos ensaios acústicos necessários.



Figura 4. 6 - Edifício Rua da Nora

O edifício em causa (figura 4.6) possui paredes exteriores e interiores em tijolo maciço de alvenaria (argamassa). A estrutura resistente usufrui ao nível do rés-do-chão de algumas vigas de betão armado de dimensões consideráveis, servindo estas, sobretudo, de suporte às vigas em madeira que constituem por sua vez a estrutura resistente dos pavimentos. As paredes exteriores encontram-se rebocadas e pintadas ao nível do rés-do-chão, sendo revestidas a cerâmicos no primeiro andar.

No que diz respeito aos pavimentos, estes encontram-se com a solução primitiva, sendo constituídos por vigas esquadriadas de madeira, travadas por tarugos de igual dimensão. No revestimento superior dos pavimentos encontra-se soalho com ligação macho-fêmea, sendo que inferiormente se registam duas variáveis de revestimento: placas finas de madeira com ligação a meio-fio e a inexistência de qualquer revestimento sendo visível a estrutura resistente. Denota-se uma pequena degradação ao nível dos pavimentos nos quais não existe nenhum revestimento inferior, sobretudo devido ao ataque de microrganismos. Nos elementos de compartimentação horizontal em que existe revestimento inferior por parte das placas finas de madeira, embora estas estejam aplicadas diretamente nas vigas do pavimento, observa-se uma conservação impecável de todos os componentes.

Tendo em conta a disponibilidade do edifício concedida, realizaram-se ensaios acústicos de isolamento a sons de condução aérea e a sons de percussão em quatro pavimentos de compartimentos distintos. Estes ensaios permitiram analisar pavimentos semelhantes comparando a presença do revestimento inferior e ainda de uma alcatifa como revestimento superior adicional.

Na figura 4.7 é possível visualizar as plantas do edifício, quer do primeiro andar (compartimentos emissores), quer do rés-do-chão (compartimentos recetores). Os compartimentos 1 e 2 têm o compartimento A como recetor, ao passo que os compartimentos 3 e 4, têm os compartimentos B e C como recetores, respetivamente. Quanto à constituição dos pavimentos, que possuem uma estrutura resistente semelhante, mas revestimentos distintos, deve analisar-se o quadro 4.2.

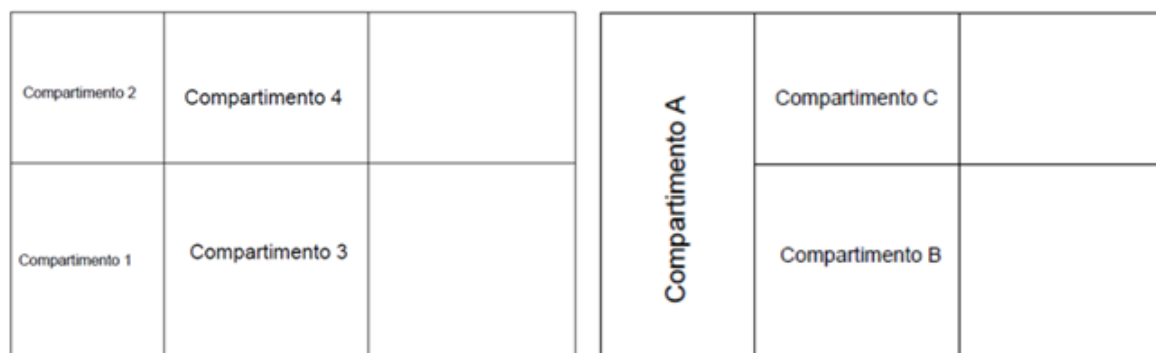


Figura 4. 7 - Planta do edifício em causa com compartimentos emissores (esquerda) e compartimentos recetores (direita)

Quadro 4. 2 - Constituição dos pavimentos ensaiados

Pavimento	Revestimento superior (alcatifa)	Revestimento inferior (placas finas de madeira)	Área de pavimento (m ²)	Volume (m ³)
Compartimento 1	X	X	7.50	15.75
Compartimento 2	X	X	7.75	16.28
Compartimento 3	X	✓	7.00	14.70
Compartimento 4	✓	✓	10.85	22.79
Compartimento A	-	-	-	40.95
Compartimento B	-	-	-	17.64
Compartimento C	-	-	-	22.79

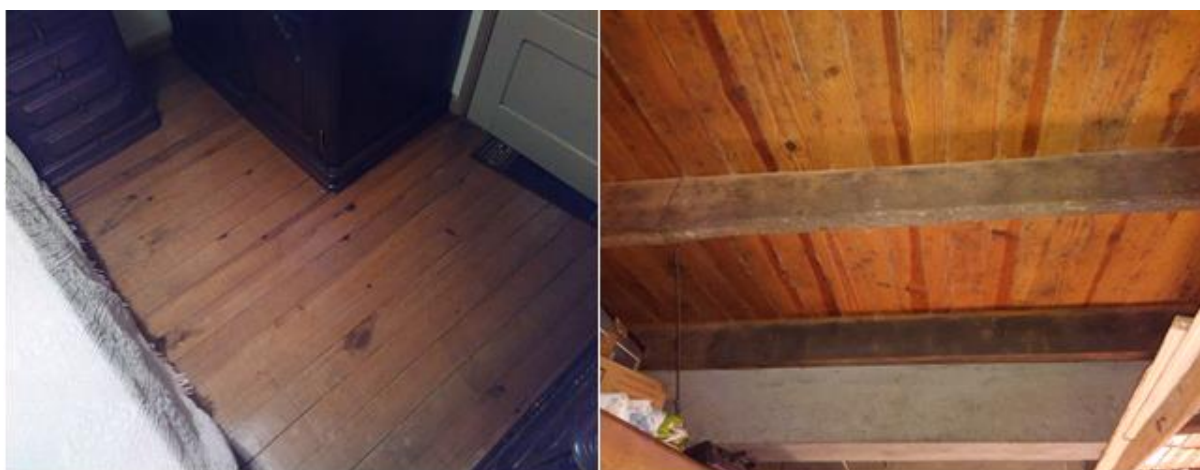


Figura 4. 8 - Compartimento 1, emissor (esquerda) e compartimento A, recetor (direita)

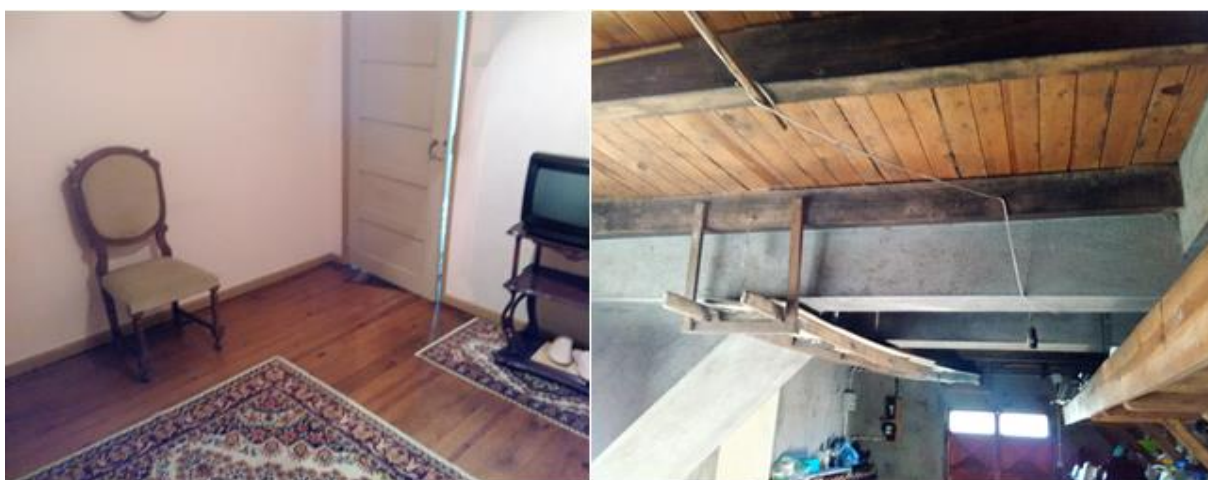


Figura 4. 9 - Compartimento 2, emissor (esquerda) e compartimento A, recetor (direita)



Figura 4. 10 - Compartimento 3, emissor (esquerda) e compartimento B, recetor (direita)



Figura 4. 11 – Compartimento 4, emissor (esquerda) e compartimento C, recetor (direita)

Os ensaios, quer a sons aéreos, quer a sons de percussão, foram realizados com a normalidade desejada (4.3.1), sem aspetos específicos a registar. As áreas dos pavimentos ensaiados, bem como o volume dos compartimentos, emissores e recetores, podem ser consultados no quadro 4.2.

4.3.5. EDIFÍCIO FERREIRA DA CUNHA

O edifício Ferreira da Cunha é um dos mais antigos do centro histórico da cidade de Amarante, estando localizado no lugar que vulgarmente se denomina por Arquinho, Rua 31 de Janeiro. Possuindo um valor patrimonial incalculável, o edificado encontra-se destinado, no presente, unicamente a serviços. Aquela que foi outrora a habitação de uma família abastada da cidade, serve hoje de residência a uma loja de têxteis e vestuário ao nível do rés-do-chão, com armazéns no primeiro andar, a uma agência de seguros no primeiro andar e ainda a um escritório de arquitetura ao nível do segundo andar. O terceiro e último andar do edifício encontra-se atualmente inutilizável (figura 4.12).



Figura 4. 12 - Edifício Ferreira da cunha (ao centro)

Dado o funcionamento dos serviços que se encontram alojados no edifício, inclusive ao domingo, foi apenas ensaiado acusticamente um pavimento, no sentido de minimizar o incómodo causado.

O edificado apresenta uma estrutura resistente em alvenaria de pedra, revestida a cerâmicos ao nível do rés-do-chão e rebocada e pintada ao nível dos restantes andares. Apenas o terceiro andar apresenta as paredes exteriores em tabique, rebocado e pintado. As paredes interiores encontram-se todas rebocadas e pintadas, diferenciando-se da maioria dos edifícios por serem constituídas por alvenaria de pedra até ao segundo andar. O tabique é uma solução que no presente caso, apenas se encontra no terceiro andar do edifício.

Ao nível dos pavimentos, ainda se encontram em uso as soluções originais. A estrutura resistente em madeira é materializada por toros não flanqueados, travados por tarugos semelhantes aos anteriores, mas apresentando menores dimensões. O revestimento superior dos pavimentos, já com um histórico avançado de aplicação de vernizes e encerações, e encoberto por uma fina alcatifa, é constituído por soalho com ligação macho-fêmea. Por outro lado, relativamente ao revestimento inferior, este materializa-se em fasquiado com estuque (aplicado diretamente nos toros por meio de pregagem), servindo este último para ornamentar os salões nobres do edifício. Nos compartimentos de utilização mais comum o revestimento inferior está materializado em placas de madeira com ligação a meio-fio. Em geral, os pavimentos apresentam apenas uma ou outra manifestação de intrusão permitida aos atacantes orgânicos, que lentamente se alimentam da madeira, não causando atualmente qualquer incómodo ao pleno funcionamento destes elementos de compartimentação horizontal.



Figura 4. 13 - Compartimento emissor (esquerda) e compartimento recetor (direita)

Cumprindo a normalização (4.3.1.), os ensaios a sons aéreos e a sons de percussão decorreram num pavimento (24.75 m^2) entre o primeiro e o segundo andar do edifício, separando este, dois salões. O compartimento emissor, com um volume de 61.88 m^3 , encontra-se atualmente destinado a sala de reuniões, ao passo que o compartimento recetor, possuindo 68.75 m^3 de volume, se encontra reservado enquanto armazém dos serviços do rés-do-chão.

4.3.6. EDIFÍCIO RUA 31 DE JANEIRO

O edifício referenciado no presente tópico como *Edifício Rua 31 de Janeiro*, encontra-se localizado em frente ao edifício descrito em 4.3.5., *Edifício Ferreira da Cunha*. Este edificado, representa a par do último descrito, um património gigantesco para o centro histórico da cidade de Amarante. Sendo um edifício com mais de 200 anos de história e identidade, vê hoje a sua atividade resumida ao comércio instalado ao nível do rés-do-chão. Este mesmo lugar serviu outrora de cavalaria para a estalagem que ali tinha atividade. No entanto, os restantes dois andares elevados, encontram-se em condições que permitem a sua habitabilidade.



Figura 4. 14 - Edifício Rua 31 de Janeiro

Uma vez que os ensaios acústicos no presente edifício foram acompanhados pelo proprietário, analisou-se apenas um pavimento no sentido de minimizar o incómodo causado, bem como o tempo dispensado pelo mesmo.

O edificado referido apresenta paredes exteriores em alvenaria de pedra, ao nível do rés-do-chão e primeiro andar, revestidas a cerâmicos. Já o segundo andar apresenta as paredes exteriores em tabique, rebocado e pintado. Quanto às paredes interiores, estas estão materializadas em alvenaria de pedra no rés-do-chão, e em tabique nos andares elevados; ambas as soluções rebocadas e pintadas.

Relativamente aos pavimentos, a constituição estrutural destes mantém-se como aquando da data de construção: toros de madeira como vigas principais, travadas por tarugos que não são mais do que toros de menor dimensão. O revestimento superior dos pavimentos encontra-se em ótimo estado de conservação dadas as intervenções que periodicamente o proprietário estabelece. Assim sendo, este encontra-se concretizado por soalho com ligação macho-fêmea, sendo que inferiormente o estuque do fasquiado está trabalhado com ornamentações elaboradas e de uma beleza indiscutível. Este mesmo fasquiado está assente diretamente sob os toros de madeira. Os pavimentos do edifício apresentam-se em geral com um estado de conservação razoável ou bom, não havendo danos de maior em nenhum destes. De registar apenas as pequenas infiltrações de água que a cobertura vai permitindo com o avançar do seu desgaste, e que ocasionalmente, provocam manchas no soalho que podem ser prejudiciais para este se não for acompanhada a sua evolução.



Figura 4. 15 - Compartimento emissor (esquerda) e compartimento recetor (direita)

Os ensaios decorreram cumprindo as disposições normativas em vigor e descrita em 4.3.1., tanto para a determinação do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, como para o equivalente de sons de percussão. O pavimento ensaiado, com área de 10.58 m^2 , e cuja representação vigora na figura 4.15, separa o primeiro andar do segundo, sendo que no compartimento emissor se encontra uma sala de estar com um volume de 22.22 m^3 , e no compartimento recetor tem lugar um escritório com 25.2 m^3 de volume.

4.3.7. EDIFÍCIO BRINTÂMEGA

Deixando o largo do Arquinho e caminhando pela Rua 31 de Janeiro em direção à famosa ponte de São Gonçalo que liga as duas margens da cidade de Amarante, deparamo-nos com a presença do edifício

Brintâmega. Aquele que um dia foi o lugar que serviu de morada a uma família privilegiada com a vista sobre o rio Tâmega, é hoje um local de comércio no rés-do-chão, aproveitando o primeiro andar como arrumos e deixando o segundo andar numa espera eminente de reabilitação. De facto, as infiltrações de água que a cobertura admite atualmente em muito têm danificado os tetos do segundo andar, sendo que os elementos construtivos que se seguem na degradação sequencial, se não houver nenhuma atuação, serão os pavimentos do segundo andar.



Figura 4. 16 - Edifício Brintâmega

Uma vez que se encontra em funcionamento o comércio ao nível do rés-do-chão, os ensaios acústicos a sons aéreos e a sons de percussão foram realizados apenas num pavimento entre o primeiro e o segundo andar do edifício, tentando minimizar ao máximo os incómodos causados, bem como a perturbação do normal funcionamento do comércio devido ao ruído produzido.

O edificado apresenta paredes exteriores em alvenaria de pedra ao nível do rés-do-chão e primeiro andar, sendo que o segundo andar já possui paredes exteriores em tabique. Ambas se encontram rebocadas e pintadas, exceto no rés-do-chão onde as montras do comércio intercetam o revestimento cerâmico da fachada. Quanto às paredes interiores, estas são em tabique, rebocadas e pintadas, em todo o edifício. O rés-do-chão e o primeiro andar não apresentam qualquer divisória, sendo dois espaços amplos.

Ao nível dos pavimentos, estes ainda demonstram a solução original, possuindo na sua estrutura toros de madeira de dimensões consideráveis, justificáveis pelo espaço amplo imediatamente acima e abaixo destes elementos de compartimentação horizontal. Ao nível do rés-do-chão e do primeiro andar, como revestimento inferior do pavimento, já foi adicionado um teto falso em gesso cartonado. A solução original está presente no tardo desse teto falso, sendo em fasquiado com estuque. O revestimento superior dos pavimentos ainda se encontra, tal como a estrutura, com a solução de origem, sendo em soalho com ligação macho-fêmea. No entanto, no segundo andar do edifício todo o soalho está revestido com uma fina alcatifa. No geral os pavimentos encontram-se com um grau de conservação bom, em

parte devido às ações de manutenção destes elementos de compartimentação horizontal, que o proprietário vai introduzindo ao longo dos anos.



Figura 4. 17 - Compartimento emissor (esquerda) e compartimento recetor (direita)

Cumprindo as especificações referidas em 4.3.1., o ensaio decorreu sem qualquer incidente a registar, não havendo também qualquer condicionante na envolvente que se pense relevante para os resultados obtidos. Assim sendo, foi então determinado o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea e o equipolente para sons de percussão, de um pavimento que separa o local de arrumos no primeiro andar, do armazém e arrecadação no segundo andar. Com uma área de 5.75 m^2 , o pavimento desliga o compartimento emissor com 14.09 m^3 , do compartimento recetor com 99.23 m^3 .

4.3.8. EDIFÍCIO QUEIRÓS

O edifício Queirós partilha a banda onde se insere com o edifício descrito no ponto anterior, 4.3.7., *Edifício Brintâmega*. Também este edificado mora na Rua 31 de Janeiro, bem no centro histórico da cidade de Amarante. Desde sempre com o rés-do-chão destinado ao comércio, o edifício viu os seus dois andares elevados continuamente ocupados por habitação. Recentemente adquirido, o edificado encontra-se agora sujeito a intensas obras de reabilitação no primeiro e segundo andar, fruto da intervenção do atual proprietário. O sótão deste bem imóvel está a ser novamente reaproveitado, como aliás terá sido inicialmente, na data de construção do edifício. A vista que este último espaço permite sobre a cidade de Amarante bem como sobre o rio Tâmega, faz do mesmo um ponto de privilégio para quem o visita.



Figura 4. 18 - Edifício Queirós (esquerda, edifício com porta e janelas verdes) e vista da cobertura do edifício (direita)

Atendendo à configuração do edifício, bem como às suas características estruturais, apenas foi possível ensaiar acusticamente um pavimento. Uma vez que o edificado se encontra em processo de reabilitação, a grande maioria das paredes interiores foram demolidas, pelo que os espaços encontrados no primeiro e no segundo andar, são espaços amplos e únicos. Entre o rés-do-chão e o primeiro andar, num passado recente, foi introduzida uma laje aligeirada de betão armado sob o fasquiado com estuque da laje original, o que coloca este pavimento fora do âmbito de estudo do presente trabalho.

O edifício apresenta as paredes exteriores em alvenaria de pedra tanto no primeiro como no segundo andar. Também as paredes interiores do rés-do-chão estão concretizadas neste tipo de alvenaria, muito característico da época de construção do edifício. Já as paredes exteriores do segundo andar, bem como todas as paredes interiores do primeiro e segundo andar, estão materializadas em tabique simples, agora rebocado e pintado após intervenção (figura 4.19).



Figura 4. 19 - Pormenor da intervenção nas paredes de tabique, com reaproveitamento das mesmas

No que diz respeito aos pavimentos em madeira, estes também se encontram em processo de remodelação, mantendo-se no presente apenas as vigas e tarugos da solução original. O soalho existente no edifício antes do processo de substituição apresentava anomalias diversas que não permitiram o seu reaproveitamento. Apesar disso, as obras recentes introduziram no edifício soluções muito parecidas com as que datam da época de construção, mantendo o soalho como revestimento superior dos pavimentos e colocando um teto em gesso cartonado no lugar que outrora fora ocupado pelo fasquiado com estuque (figura 4.20).



Figura 4. 20 - Intervenção nos pavimentos, vigas e tarugos originais, soalho novo

Com o estabelecimento do procedimento normalizado descrito em 4.3.1., foram realizados ensaios acústicos tendo em vista a determinação do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea e o equipolente para sons de percussão, do pavimento que separa o primeiro andar do segundo (figura 4.21). O compartimento emissor apresenta a mesma volumetria do compartimento recetor, ambos com 36.23 m^3 . O elemento de compartimentação horizontal que separa estes dois espaços apresenta uma área de 15.75 m^2 .



Figura 4. 21 - Compartimento emissor (esquerda) e compartimento recetor (direita)

4.3.9. EDIFÍCIO LEMOS

O edifício Lemos foi o último dos sete edifícios onde foram ensaiados acusticamente os pavimentos dos mesmos. O edifício agora descrito encontra-se localizado a cerca de 4 km do centro histórico da cidade de Amarante, possuindo, no entanto, todas as características que o tornam válido para o estudo que se pretende.



Figura 4. 22 - Edifício Lemos

Sendo um edifício constituído em toda a sua extensão por rés-do-chão e primeiro andar, desde sempre esteve associado a habitação. No entanto, durante décadas, o rés-do-chão do edificado funcionou como espaço de comércio gerido pela proprietária que tem residência no primeiro andar. Atualmente este espaço encontra-se desocupado e apenas utilizado para arrumos. O primeiro andar, em condições de habitabilidade, encontra-se com utilização.

No que diz respeito à constituição do edifício, o mesmo apresenta todas as paredes exteriores em alvenaria de pedra, sendo esta a materialização das paredes interiores do rés-do-chão. No primeiro andar as paredes interiores encontram-se realizadas em tabique simples, rebocado e pintado posteriormente.

Relativamente aos pavimentos, estes ainda detêm a solução original, possuindo vigas de madeira com travamento através de tarugos. O revestimento superior destes pavimentos encontra-se materializado através de soalho, sendo que o revestimento inferior se traduz por fasquiado com estuque. Tendo estado associado a comércio, o compartimento do rés-do-chão viu o teto revestido a painéis absorventes, perante uma ação de remodelação que já conta com mais de 25 anos de existência. Também superiormente existiram modificações no revestimento, estando hoje o soalho encoberto por alcatifa fina. Com tudo, no geral, os pavimentos encontram-se com um grau de conservação muito bom, não se observando qualquer deformação ou concavidade, quer superior como inferiormente.



Figura 4. 23 - Compartimento emissor (esquerda) e compartimento recetor (direita)

O pavimento ensaiado acusticamente, com uma área de 16.5 m^2 , separa a sala de estar e jantar do primeiro andar, com um volume de 41.25 m^3 , do local que outrora fora de comércio, no rés-do-chão, com 100 m^3 . Quer o ensaio a sons aéreos, quer o ensaio a sons de percussão, decorreram com a normalidade esperada, cumprindo as especificações normativas descritas em 4.3.1.

4.3.10. REFERÊNCIA IDENTIFICATIVA DOS PAVIMENTOS ENSAIADOS ACUSTICAMENTE

Com o intuito de tornar daqui em diante, no presente trabalho, a identificação dos pavimentos em madeira ensaiados acusticamente *in situ*, mais prática, rápida e clara, será atribuída uma referência a cada pavimento ensaiado, conforme quadro 4.3. Deste modo garante-se ainda a identidade dos pavimentos, tornando-se por outro lado as comparações efetuadas, livres de subjetividades ligadas com o nome direto dos edifícios ou a sua localização.

Importa neste momento deixar claro que os ensaios acústicos realizados *in situ* não avaliam unicamente as características acústicas do pavimento em madeira, mas antes as características acústicas destes pavimentos inseridos na envolvente que os engloba. Assim, referem-se as transmissões marginais presentes através das paredes de meação e exteriores, bem como todas as variantes intrínsecas ao próprio compartimento que se encontra delimitado pelos elementos de compartimentação horizontal em estudo.

Quadro 4. 3 - Pavimentos ensaiados acusticamente e referência associada

Edifício	Referência Identificativa
Edif. Rua Paraíso da Foz	Caso 1
Edif. Rua da Nora – Compartimento 1	Caso 2
Edif. Rua da Nora – Compartimento 2	Caso 3
Edif. Rua da Nora – Compartimento 3	Caso 4
Edif. Rua da Nora – Compartimento 4	Caso 5
Edif. Ferreira da Cunha	Caso 6
Edif. Rua 31 de Janeiro	Caso 7
Edif. Brintâmega	Caso 8
Edif. Queirós	Caso 9
Edif. Lemos	Caso 10

5

CÁLCULOS TEÓRICOS APLICADOS AOS ENSAIOS *IN SITU* E MODELOS DE PREVISÃO DO COMPORTAMENTO ACÚSTICO

5.1. INTRODUÇÃO

A componente prática de qualquer trabalho, seja este de investigação, experimentação, ou misto, na generalidade dos casos apenas se encontra completa quando surge o auxílio, ou complemento, por parte da teoria. O presente trabalho, acerca do estudo do comportamento acústico dos pavimentos em madeira, não fugiu à regra.

Deste modo, depois de realizados os ensaios *in situ* e laboratoriais, surge a oportunidade e também necessidade, de tratar os dados recolhidos, trabalhando sobre os mesmos de modo a obter a base indispensável de onde partirão as conclusões pretendidas.

No presente capítulo serão apresentados, explicados e justificados os cálculos que foram necessários e levados a cabo para esse tratamento dos dados. De modo simplista, sem uma exuberância matemática ou física que poderia complicar o raciocínio do leitor, serão apresentadas as fórmulas e o caminho seguido para a obtenção dos índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão, bem como de outros valores ou variáveis necessárias ao processamento do trabalho. Toda a componente teórica da presente tese que anteriormente se achou inoportuna a sua apresentação, será agora devidamente apresentada e mencionada.

5.2. MEDIÇÕES *IN SITU* - DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES DE ISOLAMENTO SONORO

O procedimento teórico que conduz à determinação dos índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea e a sons de percussão é o mesmo para todos os edifícios nos quais se realizaram medições *in situ*. Assim sendo, como modo de demonstração e explicação serão usados os dados recolhidos no edifício do caso 1. Nada existe de específico neste edifício que não esteja presente nos outros, nem foi este escolhido por alguma razão específica, mas antes de modo aleatório. O que leva à determinação do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea e ao índice de isolamento sonoro a sons de percussão para este edifício, é exatamente a mesma atuação que leva à determinação dos mesmos índices para os outros edifícios, permitindo ao leitor a interpretação de todo o trabalho.

Para a determinação do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea e do índice de isolamento sonoro a sons de percussão, analisaram-se bandas de frequência na gama dos 100 Hz ao 3150 Hz. Bandas

de frequência abaixo dos 100 Hz ou acima dos 3150 Hz exigem um cuidado no tratamento dos dados que ultrapassa o trabalho possível de realizar na presente tese de mestrado. Por outro lado, são bandas de frequência que podem ser dispensadas para o objetivo atual, permitindo a sua ausência retirar as conclusões pretendidas.

5.2.1. ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO A SONS DE CONDUÇÃO AÉREA

5.2.1.1. Nível Médio de Pressão Sonora

Uma das variáveis do cálculo que permite obter o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, é o nível médio de pressão sonora, quer seja no compartimento emissor, quer seja no compartimento recetor.

Primeiramente, para cada posição da fonte sonora, ocorre o registo, com o auxílio do sonómetro, do nível de pressão sonora em cinco posições distintas. Isto para o compartimento emissor e para o compartimento recetor. As diversas posições do sonómetro devem ser o mais dispersas possível dentro do compartimento. Com o auxílio da equação 5.1, obtém-se o nível de pressão sonora média-energética tanto no compartimento emissor como no compartimento recetor, para as duas posições da fonte sonora.

$$L = 10 \times \log \left(\frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \quad (5.1)$$

Onde, L_i representa o nível de pressão sonora em cada uma das cinco posições, em dB.

Quadro 5. 1 - Nível médio de pressão sonora, L_1 [dB], no compartimento emissor para uma determinada posição da fonte sonora

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
1	68,4	71,1	79,9	71,7	74,1	78,3	80,6	82,9	82	80,2	79,3	79	80,9	79,6	77,4	82,7
2	69,1	68,9	80,4	74,2	75,1	78,8	80,2	83	82,4	79,6	79,2	80,1	81,7	79,4	79,2	83,2
3	68,4	71,8	75,2	72,2	73,8	75,8	74,8	79	79,6	77,5	78,5	78	77,7	80,4	77,3	81,3
4	66,9	72,2	75,3	76,6	77,5	74,9	77,4	77,9	81,2	78,6	78,4	77,9	79,2	79,9	76,6	80,1
5	71,7	72,6	73,4	75,5	74,5	80,3	81,5	81,5	81	79,1	79,5	76,3	79,1	78,4	79,1	82,4
L_1	69,2	71,5	77,7	74,4	75,2	78,1	79,5	81,3	81,3	79,1	79,0	78,4	80,0	79,6	78,0	82,1

5.2.1.2. Correção Devido ao Ruído de Fundo

Não obstante ao cuidado que se deve tomar, e que foi considerado no presente trabalho, de escolher uma altura do dia em que o ruído envolvente ao local onde se realiza o ensaio acústico seja o menor possível, existe por certo algum ruído de fundo inevitável. Este ruído de fundo não é mais do que o ruído registado no compartimento recetor, sem a atuação de qualquer fonte sonora ou equipamento que provoque

alguma variação de pressão no meio. Os próprios equipamentos elétricos de iluminação do espaço podem por vezes ser uma fonte desse mesmo ruído.

De modo semelhante ao descrito em 5.2.1.1., para a determinação do nível médio de ruído de fundo, regista-se, em cinco posições aleatórias do compartimento recetor, o nível de pressão sonora. Desta vez sem qualquer fonte sonora a atuar e garantindo o maior silêncio possível no espaço. Depois de registadas os cinco níveis de pressão sonora, utilizando a equação 5.1., obtém-se o nível médio de pressão sonora de ruído de fundo. Neste momento, L_i representa o nível de ruído de fundo, em dB, registado em cada uma das cinco posições.

Obtido o nível médio de pressão sonora para o ruído de fundo, L_b , é altura de o comparar com o nível médio de pressão sonora no compartimento recetor. Chamemos a este último, L_{sb} . Relembra-se o leitor para o facto deste nível de médio de pressão sonora, L_{sb} , ser o resultado do sinal recebido através da fonte sonora combinado com o ruído de fundo.

Segundo a norma NP EN ISO 16283-1, o nível do ruído de fundo, L_b , deve ser em todas as bandas de frequência pelo menos 6 dB, e de preferência 10 dB, inferior ao nível do sinal combinado com o ruído de fundo, L_{sb} . No entanto se a diferença entre os dois níveis for inferior a 10 dB, mas superior a 6 dB, introduz-se a chamada correção para o ruído de fundo, que atua sobre o nível de pressão sonora média-energética determinado para o compartimento recetor. Quando tal acontece, o nível de pressão sonora associado ao compartimento recetor, L , passa a ser o determinado pela equação 5.2.

$$L = 10 \times \log \left(10^{\frac{L_{sb}}{10}} - 10^{\frac{L_b}{10}} \right) \quad (5.2)$$

Como forma de último recurso, numa situação em que a diferença entre L_{sb} e L_b seja igual ou inferior a 6 dB, independentemente da banda de frequência em que esta situação ocorra, aplica-se uma correção de 1.3 dB. Esta consiste em subtrair ao L_{sb} , 1.3 dB. No entanto, e porque nos encontramos numa situação extrema, sempre que se aplique esta correção, tal deve ser mencionada em relatório próprio, acompanhada do registo de que os valores se encontram no limite da medição.

Quadro 5. 2 - Valores de nível de pressão sonora média-energética [dB] no compartimento recetor, ruído de fundo e correção respetiva

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
L_{sb}	42,1	45,7	42,1	37,8	36,7	36,7	33,9	31,9	30,6	26,6	24,9	24,6	25,8	22,4	22,3	23,0
L_b	26,2	29,6	23,2	22,3	19,2	17,3	15,8	14,3	13,7	23,4	24,2	23,6	24,6	23,6	18,8	13,4
$L_{sb} - L_b$	15,9	16,0	18,9	15,5	17,5	19,4	18,1	17,6	16,9	3,3	0,7	1,0	1,2	-1,2	3,5	9,6
L_2	42,1	45,7	42,1	37,8	36,7	36,7	33,9	31,9	30,6	25,3	23,6	23,3	24,5	21,1	21,0	22,5

5.2.1.3. Tempo de Reverberação

O tempo de reverberação do compartimento recetor é calculado com base nas seis medições efetuadas com o sonómetro, como aliás foi descrito em 4.3.1.1. O que o sonómetro regista não é mais do que o decaimento da pressão sonora (acima do ruído de fundo) provocada pelo rebentamento do balão, pelo

que os resultados extraídos são apresentados em segundos. Como interessa apenas um valor por banda de frequência para cálculos posteriores, efetua-se uma média matemática das seis medições, sem ponderações ou recurso a fórmulas adicionais.

Quadro 5. 3 - Valores do Tempo de Reverberação, T_R [s], no compartimento recetor por banda de frequência

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
1	0,46	0,53	0,50	0,67	0,72	0,65	0,69	0,66	0,65	0,56	0,60	0,54	0,52	0,56	0,46	0,47
2	0,37	0,53	0,53	0,68	0,73	0,60	0,61	0,65	0,66	0,61	0,54	0,59	0,58	0,49	0,50	0,47
3	0,59	0,62	0,60	0,55	0,60	0,58	0,50	0,69	0,56	0,55	0,54	0,56	0,52	0,52	0,51	0,48
4	0,60	0,67	0,61	0,61	0,67	0,61	0,61	0,76	0,64	0,56	0,56	0,57	0,50	0,55	0,48	0,48
5	0,57	0,54	0,41	0,70	0,55	0,87	0,71	0,63	0,67	0,57	0,49	0,61	0,56	0,58	0,52	0,48
6	0,46	0,47	0,49	0,56	0,62	0,80	0,71	0,64	0,58	0,56	0,58	0,55	0,48	0,50	0,52	0,47
T_R	0,51	0,56	0,52	0,63	0,65	0,69	0,64	0,67	0,63	0,57	0,55	0,57	0,53	0,53	0,50	0,48

5.2.1.4. Isolamento Sonoro Bruto

Considerando o nível de pressão sonora média-energética do compartimento emissor e do compartimento recetor, e atendendo às eventuais correções devido ao ruído de fundo que este último pode sofrer, é possível calcular o isolamento sonoro bruto do pavimento em causa. Considerando L_1 , como sendo o nível de pressão sonora média-energética do compartimento emissor e L_2 o nível de pressão sonora média-energética do compartimento recetor, o isolamento sonoro bruto do pavimento, D em dB, é dado pela equação 5.3, para cada uma das bandas de frequência.

$$D = L_1 - L_2 \quad (5.3)$$

Quadro 5. 4 - Valores de isolamento sonoro bruto [dB] por banda de frequência para uma determinada posição da fonte sonora

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
L_1	69,2	71,5	77,7	74,4	75,2	78,1	79,5	81,3	81,3	79,1	79,0	78,4	80,0	79,6	78,0	82,1
L_2	42,1	45,7	42,1	37,8	36,7	36,7	33,9	31,9	30,6	25,3	23,6	23,3	24,5	21,1	21,0	22,5
D_1	27,1	25,8	35,7	36,7	38,5	41,3	45,6	49,5	50,8	53,7	55,4	55,2	55,5	58,5	57,1	59,6

5.2.1.5. Isolamento Sonoro Padronizado

Com base no isolamento sonoro bruto obtém-se o isolamento sonoro padronizado, D_{nT} , obtido como o próprio nome indica, através de uma padronização a um valor de referência do tempo de reverberação

do compartimento recetor. A norma NP EN ISO 16283-1 indica 0.5 segundos como tempo de reverberação de referência, T_0 , justificando ser este um valor razoável para habitações com mobiliário, não dependendo fortemente do volume nem da frequência.

$$D_{nT} = D + 10 \times \log\left(\frac{T}{T_0}\right) \quad (5.4)$$

Introduzindo na equação 5.4 o isolamento sonoro bruto e o tempo de reverberação por banda de frequência, obtém-se o isolamento sonoro padronizado por banda de frequência.

Quadro 5. 5 - Isolamento sonoro padronizado [dB] por banda de frequência para uma determinada posição da fonte sonora

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
D_1	27,1	25,8	35,7	36,7	38,5	41,3	45,6	49,5	50,8	53,7	55,4	55,2	55,5	58,5	57,1	59,6
T_R	0,51	0,56	0,52	0,63	0,65	0,69	0,64	0,67	0,63	0,57	0,55	0,57	0,53	0,53	0,50	0,48
D_{1nT}	27,2	26,3	35,9	37,6	39,7	42,7	46,7	50,7	51,7	54,3	55,8	55,7	55,7	58,7	57,0	59,3

5.2.1.6. Isolamento Sonoro Padronizado Médio

Existindo duas posições da fonte sonora no compartimento emissor, existem naturalmente dois valores de D_{nT} para cada banda de frequência, um para cada posição da fonte. Assim sendo é necessário recorrer à expressão 5.5 para obter apenas um único valor de D_{nT} para cada banda de frequência.

$$D_{nT} = -10 \times \log\left(\frac{1}{2} \times \sum_{j=1}^2 10^{\frac{-D_{nT,j}}{10}}\right) \quad (5.5)$$

Onde D_{nT} representa o isolamento sonoro padronizado para a fonte sonora na posição j.

Quadro 5. 6 - Isolamento sonoro padronizado médio [dB] por banda de frequência após concluídas as duas posições da fonte sonora

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
D_{1nT}	27,2	26,3	35,9	37,6	39,7	42,7	46,7	50,7	51,7	54,3	55,8	55,7	55,7	58,7	57,0	59,3
D_{2nT}	26,0	24,9	31,8	37,8	40,6	44,4	48,5	48,6	54,3	55,2	55,0	55,2	57,6	56,6	56,8	58,9
D_{nT}	26,6	25,6	33,3	37,7	40,1	43,5	47,5	49,6	52,8	54,7	55,4	55,5	56,6	57,5	56,9	59,1

5.2.1.7. Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea

Obtido o isolamento sonoro padronizado D_{nT} para cada banda de frequência, o último processo que permite obter o índice de isolamento sonoro do pavimento a sons de condução aérea passa pelo ajuste dos valores de isolamento sonoro padronizado à curva de referência (CR), segundo a norma NP EN ISO 717-1. Os valores de D_{nT} para cada banda de frequência traduzem a curva real que se pretende ajustar.

Segundo a norma NP EN ISO 717-1 os valores de referência usados para comparação com os resultados das medições são os que se apresentam no quadro 5.1.

Quadro 5. 7 - Valores de referência para sons de condução aérea

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
CR (dB)	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
Δ (dB)	0	+3	+6	+9	+12	+15	+18	+19	+20	+21	+22	+23	+23	+23	+23	+23

O procedimento consiste em ajustar por iterações sucessivas os valores de D_{nT} com a curva de referência (CR), de forma a que a soma dos afastamentos positivos ($CR - D_{nT}$), a dividir pelo número de bandas de frequência utilizadas, neste caso sendo por 1/3 de oitava são 16 bandas, seja o maior possível, mas sem ultrapassar o valor de 2.0. O valor de $D_{nT,w}$, sem casas decimais, corresponde à ordenada da curva ajustada, CR, na banda de frequência dos 500 Hz. O índice w , deriva da palavra inglesa *weighted* que pode ser traduzida como “ponderado”.

Quadro 5. 8 - Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea [dB] do pavimento em causa

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
D_{nT}	26,6	25,6	33,3	37,7	40,1	43,5	47,5	49,6	52,8	54,7	55,4	55,5	56,6	57,5	56,9	59,1
CR	31	34	37	40	43	46	49	50	51	52	53	54	54	54	54	54
Δ	4,4	8,4	3,7	2,3	2,9	2,5	1,5	0,4	-1,8	-2,7	-2,4	-1,5	-2,6	-3,5	-2,9	-5,1
$\frac{\sum_{100}^{3150} \Delta}{16} = 1.6$								$D_{nT,w} = 50 \text{ dB}$								

Na figura 5.1. é possível a visualização do processo descrito acima e representado no quadro 5.8. A representação gráfica segue as recomendações descritas na norma NP EN ISO 16283-1.

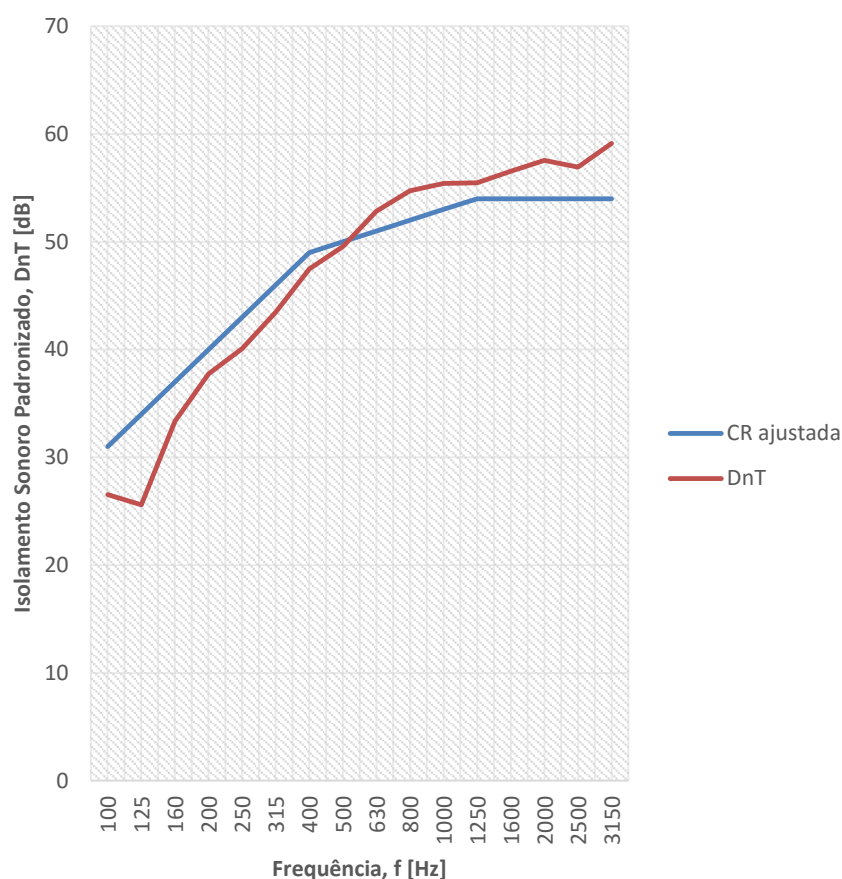


Figura 5. 1 - Representação gráfica da CR e do isolamento sonoro padronizado a sons de condução aérea por banda de frequência

5.2.2. ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO A SONS DE PERCUSSÃO

5.2.2.1. Nível Médio de Pressão Sonora

O procedimento para a obtenção do nível de pressão sonora média-energética para sons de percussão é em tudo semelhante ao que leva à obtenção do nível de pressão sonora média-energética para sons de condução aérea e descrito em 5.2.1.1. Como tal recomenda-se a leitura deste ponto por parte do leitor.

Uma vez que, aquando dos ensaios acústicos a os sons de percussão, é conhecido o ruído padronizado que a máquina de percussão produz, apenas se registam as cinco medições do nível de pressão sonora no compartimento recetor, com o auxílio do sonómetro. No entanto também agora se coloca a máquina de percussão em duas posições distintas, à semelhança da disposição da fonte sonora. Para cada uma das posições da máquina obtém-se um nível de pressão sonora média-energética por banda de frequência através da equação 5.1.

5.2.2.2. Correção Devido ao Ruído de Fundo

Relativamente à correção introduzida no nível médio de pressão sonora média-energética do compartimento recetor motivada pelo ruído de fundo, o procedimento para os sons de percussão é

exatamente o mesmo que se estabelece para os sons de condução aérea, pelo que se aconselha vivamente a leitura do ponto 5.2.1.2.

5.2.2.3. Tempo de Reverberação

O tempo de reverberação do compartimento recetor corresponde ao determinado para o cálculo do índice de isolamento sonoro do pavimento a sons de condução aérea. Como tal, este apenas se calcula uma vez, sendo que para o isolamento sonoro do pavimento a sons de percussão se resgata os valores obtidos anteriormente para sons de condução aérea. Relembre-se o leitor que o compartimento recetor é o mesmo e que a diferença temporal que separa o ensaio a sons aéreos, do ensaio a sons de percussão, é de apenas alguns minutos. Deve assim o leitor reler o ponto 5.2.1.3.

5.2.2.4. Isolamento Sonoro Bruto

No que diz respeito ao isolamento sonoro bruto, surgem algumas diferenças quando comparado com o isolamento sonoro bruto a sons de condução aérea. Como perante o ensaio acústico de isolamento sonoro a sons de percussão apenas se registam níveis de pressão sonora no compartimento recetor, o isolamento sonoro bruto a sons de percussão, L' , é dado diretamente pelo nível médio de pressão sonora média-energética calculado anteriormente, como explica o ponto 5.2.2.1.

Claro é que, quando existe necessidade de correção desse nível de pressão sonora média-energética devido ao ruído de fundo, essa correção ocorre primeiramente, associando-se só depois desse processo, o valor obtido a isolamento sonoro bruto, L' .

Quadro 5. 9 - Isolamento sonoro bruto [dB] por banda de frequência para uma posição da máquina de percussão

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
L'_i	70,5	73,7	67,0	67,7	64,7	63,8	60,9	57,6	55,6	53,7	51,4	50,1	46,7	43,1	39,3	33,1

5.2.2.5. Isolamento Sonoro Padronizado

De modo semelhante ao isolamento sonoro a sons de condução aérea, depois de obtido o isolamento sonoro bruto é possível obter o isolamento sonoro padronizado a sons de percussão, como mostra a expressão 5.6.

$$L'_{nT} = L_i + 10 \times \log\left(\frac{T}{T_0}\right) \quad (5.6)$$

Onde, L_i representa o isolamento sonoro bruto a sons de percussão para cada banda de frequências. Também na equação 5.6 se introduz o tempo de reverberação do compartimento recetor para cada banda de frequências.

Quadro 5. 10 - Isolamento sonoro padronizado [dB] por banda de frequência para uma determinada posição da máquina de percussão

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
L' ₁	70,5	73,7	67,0	67,7	64,7	63,8	60,9	57,6	55,6	53,7	51,4	50,1	46,7	43,1	39,3	33,1
T _R	0,51	0,56	0,52	0,63	0,65	0,69	0,64	0,67	0,63	0,57	0,55	0,57	0,53	0,53	0,50	0,48
L' _{1nT}	70,6	74,1	67,2	68,6	65,8	65,2	62,0	58,9	56,5	54,2	51,8	50,6	46,9	43,4	39,3	32,8

5.2.2.6. Isolamento Sonoro Padronizado Médio

Uma vez que existem duas posições da máquina de percussão no compartimento recetor, existirão para cada banda de frequências dois níveis médios de pressão sonora média-energética. Embora esses valores sejam convertidos em isolamento sonoro padronizado por banda de frequência, torna-se necessário chegar a um único valor desse mesmo isolamento por banda de frequência, com o intuito de determinar o índice de isolamento sonoro a sons de percussão do pavimento. Com esse objetivo aplica-se a equação 5.7.

$$L'_{nT} = -10 \times \log \left(\frac{1}{2} \times \sum_{j=1}^2 10^{\frac{-L'_{nT,j}}{10}} \right) \quad (5.7)$$

Onde L'_{nT,j} representa o isolamento sonoro padronizado para a máquina de percussão na posição j.

Quadro 5. 11 - Isolamento sonoro padronizado médio [dB] para ambas as posições da máquina de percussão

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
L' _{1nT}	70,6	74,1	67,2	68,6	65,8	65,2	62,0	58,9	56,5	54,2	51,8	50,6	46,9	43,4	39,3	32,8
L' _{2nT}	69,4	74,3	68,5	69,2	66,7	63,6	60,9	58,4	55,1	53,6	52,4	50,8	48,3	45,2	43,0	35,0
L' _{nT}	70,0	74,2	67,8	68,9	66,2	64,3	61,4	58,6	55,8	53,9	52,1	50,7	47,6	44,2	40,7	33,8

5.2.2.7. Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Percussão

O índice de isolamento sonoro a sons de percussão é obtido depois do isolamento sonoro a sons de percussão padronizado por banda de frequências. Como descrito em 5.2.1.7., por ajuste a uma curva de referência (CR), descrita na norma NP EN ISO 717-2 é possível obter o índice pretendido. Os valores de L'_{nT} para cada banda de frequência traduzem a curva real dos valores que se pretende ajustar.

Segundo a norma NP EN ISO 717-2 os valores de referência usados para comparação com os resultados das medições são os que se apresentam no quadro 5.12.

Quadro 5. 12 - Valores de referência para sons de percussão

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
CR (dB)	62	62	62	62	62	62	61	60	59	58	57	54	51	48	45	42
Δ (dB)	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-3	-4	-5	-8	-11	-14	-17	-20

O procedimento consiste em ajustar por iterações sucessivas os valores de L'_{nT} com a curva de referência (CR), de forma a que a soma dos afastamentos positivos ($L'_{nT} - CR$), a dividir pelo número de bandas de frequência utilizadas, neste caso sendo por 1/3 de oitava são 16 bandas, seja o maior possível, mas sem ultrapassar o valor de 2.0. O valor de $L'_{nT,w}$, sem casas decimais, corresponde à ordenada da curva ajustada, CR, na banda de frequência dos 500 Hz. O índice w , deriva da palavra inglesa *weighted* que pode ser traduzida como “ponderado”.

Quadro 5. 13 - Índice de isolamento sonoro a sons de percussão [dB] do pavimento em causa

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
L'_{nT}	70,0	74,2	67,8	68,9	66,2	64,3	61,4	58,6	55,8	53,9	52,1	50,7	47,6	44,2	40,7	33,8
CR	64	64	64	64	64	64	63	62	61	60	59	56	53	50	47	44
Δ	6,0	10,2	3,8	4,9	2,2	0,3	-1,6	-3,4	-5,2	-6,1	-6,9	-5,3	-5,4	-5,8	-6,3	-10,2
$\frac{\sum_{100}^{3150} \Delta}{16} = 1.7$								$L'_{nT,w} = 62 \text{ dB}$								

Na figura 5.2. é possível a visualização do processo descrito acima e representado no quadro 5.13. A representação gráfica segue as recomendações descritas na norma NP EN ISO 16283-2.

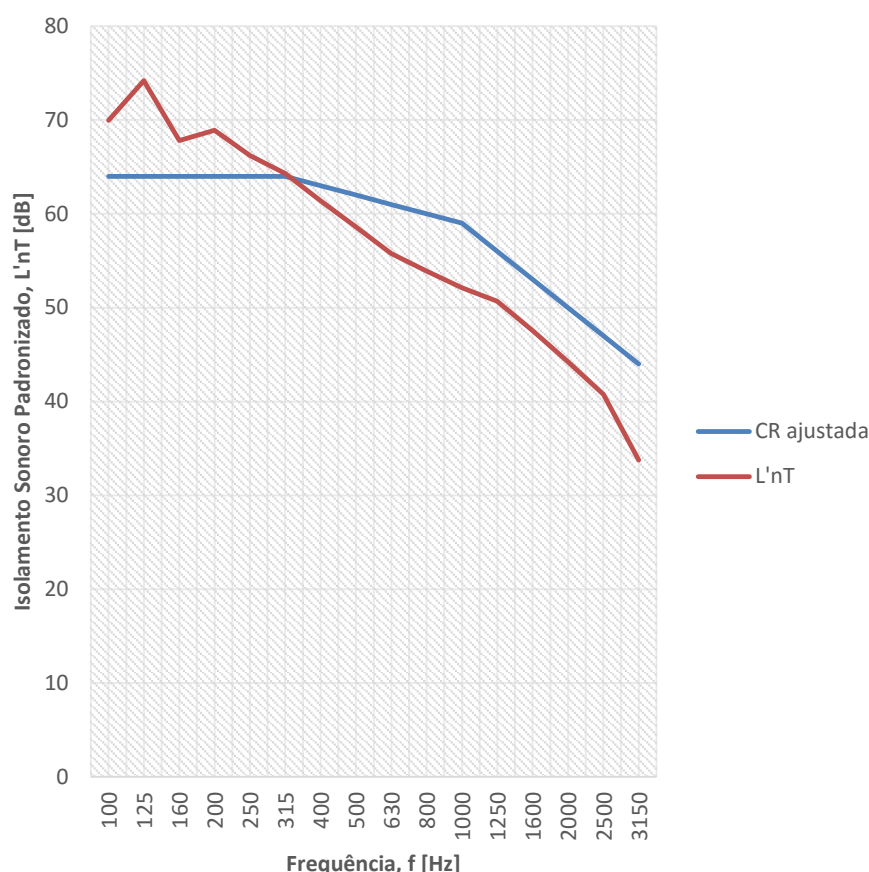


Figura 5. 2 - Representação gráfica da CR e do isolamento sonoro padronizado a sons de percussão por banda de frequência

5.2.3. SÍNTESE DE RESULTADOS

Aplicando o procedimento descrito anteriormente em 5.2.1. e em 5.2.2. é possível obter o aglomerado de resultados que agora se apresenta. Os passos seguidos para a obtenção dos índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea e sons de percussão dos pavimentos ensaiados *in situ* permitem a obtenção do valor único que se apresenta. No entanto, todos os cálculos intermédios são de importância elevada, pelo que se apresentam os valores resumidos do tempo de reverberação e do ruído de fundo para cada um dos compartimentos recetores em causa.

Os resultados do tempo de reverberação e do ruído de fundo do compartimento recetor, bem como do isolamento sonoro padronizado a sons de condução aérea e do equipolente para sons de percussão dos pavimentos, apresentam-se por banda de frequência, entre os 100 Hz e os 3150 Hz. Pretende-se com isto, não só a disponibilização de uma informação mais detalhada dos dados adquiridos para o leitor, mas também a total transparência e aumento da fiabilidade do procedimento que permite a obtenção dos índices de isolamento sonoro dos pavimentos. Entende o autor que, deste modo, os leitores mais interessados e particularizados com o assunto podem desfrutar de uma análise mais intensa e cuidadosa da teoria por detrás do procedimento levado a cabo *in situ*, bem como das conclusões retiradas posteriormente.

Quadro 5. 14 - Tempo de reverberação (s) e ruído de fundo (dB), por banda de frequência, dos compartimentos recetores nos edifícios analisados

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Caso 1																
T _R	0,51	0,56	0,52	0,63	0,65	0,69	0,64	0,67	0,63	0,57	0,55	0,57	0,53	0,53	0,50	0,48
L _b	26,2	29,6	23,2	22,3	19,2	17,3	15,8	14,3	13,7	23,4	24,2	23,6	24,6	23,6	18,8	13,4
Caso 2 e Caso 3																
T _R	0,66	0,68	0,71	0,54	0,53	0,45	0,45	0,51	0,50	0,47	0,41	0,36	0,37	0,34	0,33	0,31
L _b	24,6	20,8	22,0	19,4	19,3	18,5	41,2	33,7	25,7	24,9	27,1	42,0	27,9	41,3	32,6	41,3
Caso 4																
T _R	0,72	0,74	0,72	0,85	1,01	1,03	0,94	0,89	0,84	0,78	0,80	0,77	0,74	0,72	0,68	0,62
L _b	22,4	19,8	21,6	25,3	25,1	26,4	46,3	38,7	28,9	23,9	26,7	46,7	31,4	46,0	37,2	46,0
Caso 5																
T _R	0,38	0,35	0,34	0,52	0,43	0,41	0,43	0,43	0,37	0,36	0,38	0,39	0,36	0,34	0,33	0,33
L _b	23,0	19,5	20,2	17,0	22,7	23,1	52,5	44,7	20,2	23,7	22,9	52,6	33,7	51,6	42,6	51,1
Caso 6																
T _R	0,30	0,21	0,23	0,19	0,20	0,22	0,28	0,23	0,26	0,29	0,24	0,23	0,25	0,25	0,26	0,27
L _b	31,3	25,9	24,7	24,5	20,1	20,3	20,7	17,8	17,6	19,6	23,8	29,9	24,1	18,3	19,4	15,0
Caso 7																
T _R	0,32	0,37	0,26	0,38	0,40	0,43	0,48	0,46	0,45	0,45	0,47	0,45	0,48	0,47	0,43	0,45
L _b	34,5	34,8	31,5	31,0	29,3	28,8	26,3	25,8	25,4	28,5	32,8	36,5	34,6	26,3	28,0	23,8
Caso 8																
T _R	0,38	0,30	0,26	0,30	0,30	0,26	0,22	0,27	0,25	0,24	0,26	0,26	0,32	0,32	0,31	0,32
L _b	30,4	21,4	26,2	20,1	25,9	24,0	36,6	31,0	26,2	27,1	26,4	37,3	27,2	36,8	29,6	36,9
Caso 9																
T _R	0,70	0,97	1,10	1,21	1,12	1,03	0,99	0,99	0,96	0,91	0,89	0,91	0,88	0,83	0,81	0,77
L _b	31,2	33,0	32,7	32,9	28,3	26,3	28,4	24,0	21,1	22,4	25,8	30,8	23,9	21,6	19,9	13,2
Caso 10																
T _R	1,00	1,32	0,83	0,86	0,83	0,71	0,81	0,75	0,74	0,69	0,65	0,65	0,65	0,62	0,59	0,59
L _b	29,2	25,7	27,0	25,9	27,2	28,0	28,0	26,5	23,0	24,2	24,4	28,1	26,4	24,5	21,5	28,7

Quadro 5. 15 - Isolamento sonoro padronizado a sons aéreos e a sons de percussão para cada pavimento ensaiado, por banda de frequência

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Caso 1																
D _{nT}	26,6	25,6	33,3	37,7	40,1	43,5	47,5	49,6	52,8	54,7	55,4	55,5	56,6	57,5	56,9	59,1
L' _{nT}	70,0	74,2	67,8	68,9	66,2	64,3	61,4	58,6	55,8	53,9	52,1	50,7	47,6	44,2	40,7	33,8
Caso 2																
D _{nT}	17,9	21,5	20,6	18,9	20,7	22,2	23,1	26,0	26,1	27,4	28,9	30,3	31,3	33,2	32,9	34,8
L' _{nT}	82,1	81,1	82,2	81,1	79,9	81,2	81,7	83,0	83,9	83,5	82,2	80,7	78,0	72,7	67,3	62,8
Caso 3																
D _{nT}	14,8	16,1	18,3	15,0	18,6	18,1	10,0	17,0	22,9	23,4	22,6	11,7	24,0	17,3	22,4	20,7
L' _{nT}	78,3	85,3	85,5	82,6	80,0	82,3	83,4	83,4	85,0	85,3	83,8	82,1	80,0	76,7	72,6	68,1
Caso 4																
D _{nT}	12,6	12,6	21,2	22,0	21,6	25,7	23,3	28,7	33,1	36,1	37,3	24,8	38,4	28,9	36,6	32,4
L' _{nT}	83,2	87,3	89,2	90,9	89,1	83,7	89,3	88,3	86,8	86,7	86,0	84,8	86,0	82,6	78,2	72,3
Caso 5																
D _{nT}	12,1	17,0	22,6	18,0	22,0	22,4	23,3	30,6	33,5	30,2	31,9	22,0	34,1	25,0	31,8	28,3
L' _{nT}	79,2	74,5	70,2	79,9	72,9	69,6	68,3	66,4	60,5	56,8	53,9	52,4	51,4	45,5	37,2	33,5
Caso 6																
D _{nT}	23,8	25,2	30,8	31,2	32,8	32,8	37,2	40,2	42,5	43,6	44,7	41,1	43,8	48,4	48,5	54,3
L' _{nT}	69,8	64,7	66,5	66,2	66,3	67,2	66,5	59,8	56,1	54,9	49,1	43,9	39,9	33,5	30,4	27,3
Caso 7																
D _{nT}	31,5	34,0	37,0	39,5	43,3	46,8	51,3	51,2	53,2	50,0	46,1	42,3	48,0	51,0	50,4	57,6
L' _{nT}	58,1	60,5	57,7	60,8	60,2	59,1	61,3	61,0	57,8	55,7	53,2	50,1	44,6	38,9	30,7	23,8
Caso 8																
D _{nT}	28,8	35,4	31,4	31,2	38,5	44,7	47,5	48,2	48,5	46,2	44,6	44,3	47,0	49,3	49,1	52,9
L' _{nT}	61,3	61,7	65,4	57,5	50,4	44,8	37,3	40,0	31,8	23,5	25,6	20,8	21,6	21,5	19,5	17,8
Caso 9																
D _{nT}	26,3	27,1	32,6	29,8	29,5	26,4	29,7	31,4	32,9	32,0	30,8	32,7	32,4	32,8	33,0	34,5
L' _{nT}	69,0	71,5	70,4	71,8	70,3	68,9	68,5	68,3	67,8	66,1	65,7	64,5	61,9	58,1	54,5	50,1
Caso 10																
D _{nT}	20,8	26,6	32,7	32,6	34,0	39,8	43,5	46,6	47,4	45,8	44,2	44,8	48,1	48,1	46,5	53,6
L' _{nT}	72,9	74,4	71,0	67,8	66,6	62,8	56,6	51,6	47,2	43,1	40,2	38,4	36,5	35,3	34,1	30,5

Para complemento do presente assunto recomenda-se a leitura e análise do anexo A, relativo aos boletins de ensaio dos pavimentos em causa.

Surge agora lugar para oportunamente apresentar os índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea, bem como a sons de percussão, dos pavimentos ensaiados acusticamente.

Quadro 5. 16 - Índice de isolamento sonoro padronizado a sons aéreos (dB) e índice de isolamento sonoro padronizado a sons de percussão (dB) dos pavimentos ensaiados

Edifício	$D_{nT,w}$	$L'_{nT,w}$	Boletim de ensaio [Anexo A]
Caso 1	50	62	01 e 02
Caso 2	29	81	07 e 08
Caso 3	19	84	09 e 10
Caso 4	30	88	03 e 04
Caso 5	28	67	05 e 06
Caso 6	42	61	11 e 12
Caso 7	49	56	13 e 14
Caso 8	47	52	15 e 16
Caso 9	32	67	17 e 18
Caso 10	45	62	19 e 20

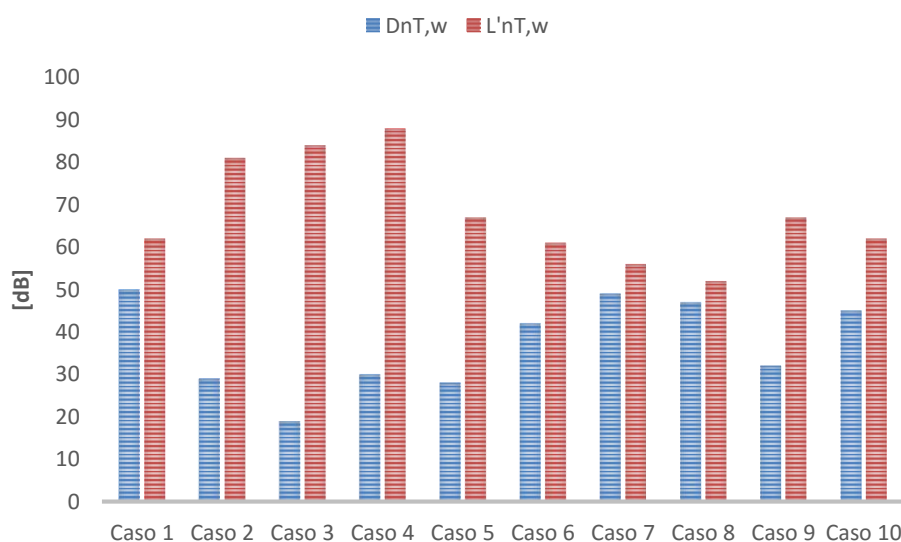


Figura 5. 3 - Representação gráfico dos índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea e a sons de percussão dos pavimentos ensaiados

5.3. MODELOS DE PREVISÃO TEÓRICOS UTILIZADOS PARA COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

No dia-a-dia do trabalho de um qualquer projetista uma das ferramentas essenciais passa pelos modelos de cálculo teóricos. São estes modelos que permitem ao projetista de acústica, neste caso, perceber o funcionamento *in situ*, através de uma previsão mais ou menos fiável, das soluções que o mesmo projeta e engenha de modo a corresponder às solicitações pretendidas e requeridas em projeto.

Como é facilmente perceptível, a experiência por detrás de cada pensamento e solução, dita por si só um conhecimento inquestionável com uma certeza fiável. No entanto, os modelos de previsão/cálculo teóricos não servem apenas de base para o início da atividade profissional, mas acompanham qualquer profissional de engenharia, nas mais diversificadas áreas, como meio de prova e certificação em fase de projeto da viabilidade e fiabilidade das soluções apresentadas.

Percebe-se assim a importância extrema de modelos teóricos que se adequem o mais precisamente possível ao comportamento acústico real dos materiais e soluções instalados *in situ*. Apresentam-se de seguida alguns desses modelos existentes há já vários anos, baseados no comportamento acústico de soluções, sejam estas baseadas em elementos simples ou em elementos duplos.

5.3.1. ELEMENTOS SIMPLES

Os pavimentos de madeira podem ser considerados elementos simples ou elementos duplos conforme a sua constituição. Quando um pavimento em madeira não possui qualquer revestimento inferior, encontrando-se a sua estrutura resistente (vigas, tarugos, entre outros) visível inferiormente, o mesmo pode ser analisado acusticamente como um elemento simples. Estes eram, no tempo de construção dos edifícios agora analisados, correntes em espaços das habitações pouco nobres, como arrumos ou garagens, onde o aspeto do teto era pouco valorizado. Perante uma eventual ação de reabilitação são os pavimentos mais fáceis de analisar no que diz respeito à verificação do estado atual dos mesmos.



Figura 5. 4 - Pavimento simples sem qualquer revestimento inferior

Assim sendo, o comportamento acústico de um pavimento simples irá depender de inúmeros fatores, dos quais se destacam: massa do pavimento, frequência do som incidente, frequência crítica, frequências próprias, fator de perdas, campo sonoro incidente, permeabilidade e rigidez. Acontece que ao longo das diferentes gamas de frequências, incluindo a gama de frequências audíveis, o comportamento do

pavimento não consegue ser sempre traduzido pelo mesmo modelo de cálculo. Dependendo das frequências envolvidas, o estímulo oscilatório provoca uma transmissão sonora no pavimento que pode ser expressa num comportamento acústico dividido em cinco zonas distintas. [6]

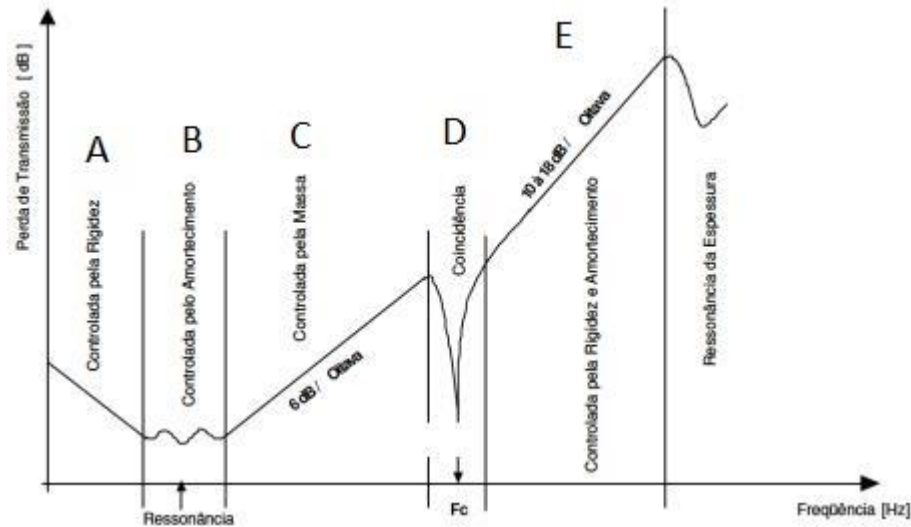


Figura 5. 5 - Comportamento típico dos valores de R (perda de transmissão) com a frequência de um pavimento simples [adaptado 30]

Na zona A o comportamento acústico do pavimento é dirigido pela sua rigidez, sendo que o R (redução sonora) diminui com o aumento da frequência. Dispensa-se em geral uma análise detalhada nesta zona uma vez que se encontra fora da gama de frequências audíveis.

Na zona B a elasticidade assume uma posição importante e o pavimento vibra como uma placa de dimensões finitas controlada pelos modos próprios de vibração transversal. Denomina-se como um estado de ressonância do pavimento. A frequência de ressonância pode variar em função do tipo de apoio presente (equações 5.8 e 5.9).

Quando apoio simples:

$$f_{res} = 0.453 \times h \times \sqrt{\frac{E}{\rho \times (1 - \nu^2)}} \times \left[\frac{n^2}{x} + \frac{m^2}{y} \right] \quad (5.8)$$

Quando existe encastramento:

$$f_{res} = 0.453 \times h \times \sqrt{\frac{E}{\rho \times (1 - \nu^2)}} \times \left[\frac{n^2}{x} + \frac{m^2}{y} \right] \quad (5.9)$$

Onde:

- f_{res} – frequência de ressonância [Hz];
- h – espessura da parede [m];
- E – módulo de elasticidade [Pa];
- ρ – massa específica [kg/m^3];
- n e m – números inteiros
- x e y – dimensões do pavimento [m].

Na zona C, onde as frequências são superiores às frequências próprias de ressonância, o pavimento constituindo o sistema vibrante é controlado pela massa. É neste contexto que surge a lei da massa para uma onda sonora que incide com θ graus, equação 5.10.

$$R_{\theta} = 20 \times \log \frac{\pi \times m \times f \times \cos \theta}{\rho_0 \times c} \quad (5.10)$$

Onde:

- ρ_0 – massa volúmica do ar;
- c - celeridade.

Por norma verifica-se um crescimento do isolamento sonoro nesta zona de 6 dB por oitava.

Na zona D concentra-se a frequência crítica. Esta frequência crítica traduz-se pela coincidência do estímulo sonoro externo e da vibração própria do pavimento. Entre todas as frequências que incidem sobre o pavimento, a frequência crítica, f_c , é aquela cujo comprimento de onda, λ , possui uma projeção no plano do pavimento que coincide com o comprimento de onda de frequência longitudinal das ondas de flexão do próprio pavimento, λ_B . Por este motivo, nesta frequência praticamente não existe atenuação sendo o isolamento sonoro muito reduzido. São influenciadoras desta frequência crítica do pavimento a sua massa, a sua espessura e a velocidade do som no ar.

A frequência crítica traduz-se de modo simplista como um “buraco” que existe no pavimento para aquela frequência, não constituindo qualquer resistência à passagem da onda sonora (figura 5.6).

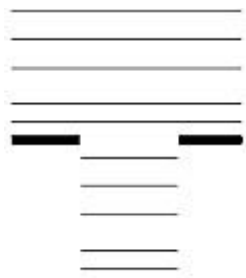


Figura 5. 6 - Esquema representativo da frequência crítica de um pavimento

A frequência crítica é dada pela expressão 5.11.

$$f_c = \frac{c^2}{2 \times \pi} \times \sqrt{\frac{m}{B}} \quad (5.11)$$

Sendo que B é obtido na equação 5.12.

$$B = \frac{E \times h^3}{12 \times (1 - \nu^2)} \quad (5.12)$$

Onde:

- c - celeridade [m/s];
- m – massa por unidade de superfície [kg/m²];
- B – módulo de rigidez à flexão [kg.m²/s²];
- E – módulo de elasticidade [Pa];
- h – espessura [m];
- ν – coeficiente de Poisson.

A madeira apresenta a sua frequência crítica entre os 6 000 e os 18 000 Hz (para uma espessura de 1 cm), variando conforme a espécie, sendo que o pinho (espécie de madeira mais corrente em pavimentos dos edifícios agora em causa) apresenta um fator de perdas, η, de 0.008 e uma massa volúmica de 480 kg/m³.

Na zona E, por fim, numa fase em que as frequências são superiores à frequência crítica, o isolamento sonoro, R, cresce em regra 9 dB por oitava, sendo dado pela equação 5.13.

$$R = 20 \times \log \frac{\pi \times m \times f}{\rho_0 \times c} + 10 \times \log \frac{f}{f_c} + 10 \times \log \eta - 2 \quad (5.13)$$

5.3.2. ELEMENTOS DUPLOS

Contrariamente aos pavimentos em madeira descritos e analisados como elementos simples, existem pavimentos em madeira que possuem revestimento inferior, constituindo o teto do compartimento inferior. Este é precisamente o tipo de pavimento mais corrente nos edifícios nos quais se realizaram ensaios acústicos aos pavimentos, mas também em todos os outros que datam da mesma época de construção. O revestimento inferior confere ao pavimento em madeira um aspeto e robustez que se traduz por uma nobreza que pode ir das simples placas em pinho com ligação a meio-fio, aos tetos em fasquiado com estuque ornamentados com uma beleza única e indiscritível.

Acusticamente este tipo de pavimentos pode ser analisado como elemento duplo, tendo como uma das suas vantagens o efeito positivo da caixa de ar. São pavimentos que regra geral se comportam significativamente melhor sob o ponto de vista acústico, quando comparados com os pavimentos de madeira sem qualquer revestimento inferior. Na verdade, a duplicação dos paramentos é uma das técnicas utilizadas acusticamente para a melhoria do isolamento de determinado elemento, uma vez que o aumento da sua massa apresenta limitações económicas e funcionais.

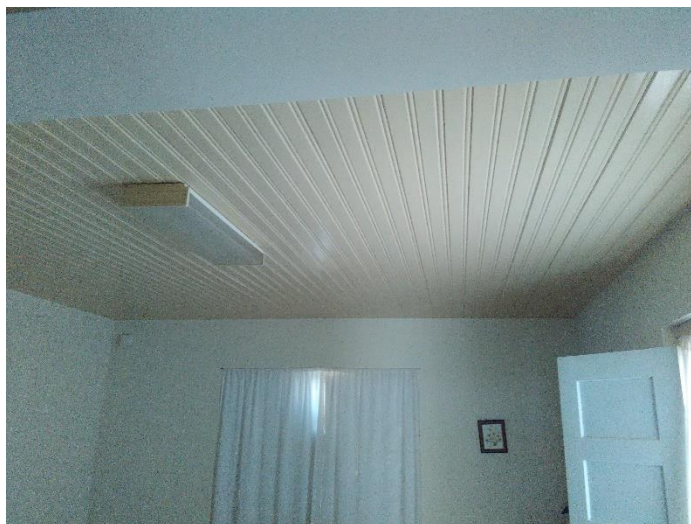


Figura 5. 7 - Pavimento em madeira com revestimento inferior em madeira

Tal como anteriormente em 5.3.1. para os elementos simples, também agora é possível diferenciar o comportamento dos pavimentos em madeira revestidos inferiormente conforme as gamas de frequências. [6]

Um pavimento revestido inferiormente, retratado como elemento duplo, comporta-se como um sistema massa-ar-massa, apresentando este conjunto uma frequência de ressonância, f_0 , quando vibra como um único elemento. Quando analisamos estes elementos por base de modelos teóricos, é possível diferenciar o comportamento do pavimento em função da frequência, uma vez que se consegue localizar a frequência de ressonância do pavimento em geral, no seu conjunto, mas também as frequências de coincidência dos dois revestimentos, superior e inferior. Estas últimas podem inclusivamente ser distintas conforme a constituição do revestimento superior (em regra o soalho), e do revestimento inferior que em geral varia entre o fasquiado com estuque e as placas de pinho. Estas frequências de coincidência podem ser determinadas para cada revestimento conforme a equação 5.11.

$$f_0 = \frac{c}{2 \times \pi} \times \sqrt{\frac{\rho}{d} \times \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)} \quad (5.14)$$

Onde:

- m_1 e m_2 – massas superficiais dos elementos constituintes do pavimento [kg/m^2];
- d – espessura da caixa de ar [m].

A frequência de ressonância pretende-se sempre que possível como o valor mais baixo conseguido, uma vez que o ideal será impulsionar esta frequência para fora da gama de frequências audíveis, não prejudicando deste modo o isolamento sonoro conferido pelo pavimento. Crocker, em 1997, escrevia sobre a inclusão de material absorvente sonoro na caixa de ar, o qual faz baixar o valor da frequência em que ocorre ressonância, em cerca de 30%.

Até à frequência de ressonância, f_0 , o pavimento no seu conjunto funciona de modo semelhante a um elemento simples, naturalmente com a mesma massa da totalidade do pavimento com os dois paramentos. O principal ganho de isolamento sonoro, R , por parte dos pavimentos com revestimento inferior ocorre após a zona da f_0 , de modo muito rápido, em cerca de 18 dB por oitava, contrastando severamente com o ganho de 9 dB por oitava dos pavimentos sem revestimento inferior. Aqui surge mais uma razão para se pretender o valor em que ocorre a frequência de ressonância do conjunto como o mais baixo possível, garantindo assim mais cedo o crescimento mais acentuado no isolamento sonoro.

Carvalho, 2015, em *Acústica Ambiental e de Edifícios*, escreve ainda sobre a importância de garantir que os dois revestimentos de qualquer elemento duplo apresentem espessuras diferentes (quando de igual composição), para deste modo apresentarem obrigatoriamente frequências críticas distintas. Deste modo assegura-se uma quebra no isolamento sonoro, R , menos acentuada do que aquela que se verifica aquando da existência de dois paramentos de igual composição e com a mesma espessura, figura 5.8.

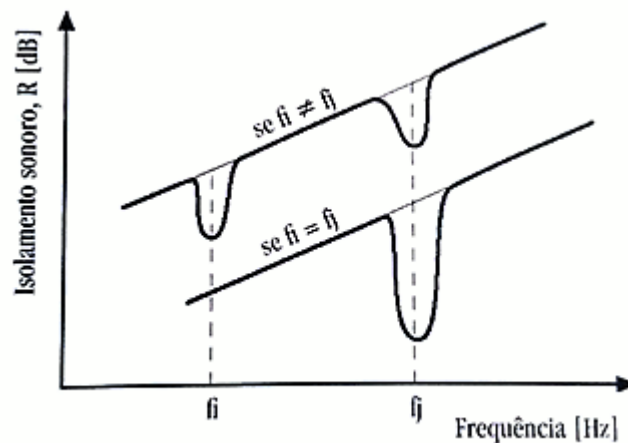


Figura 5. 8 - Pavimento com revestimento inferior com frequências de coincidência distintas (acima) e iguais (abaixo) nos dois revestimentos onde se pode verificar uma maior diminuição do R no caso de baixo [10]

5.3.3. MÉTODO DE SHARP

Um dos métodos de previsão do comportamento acústico de soluções para sons aéreos é o Método de Sharp. A metodologia de cálculo envolvida é apresentada em *Engineering Noise Control* por Bies e Hansen em 2003, mas baseia-se no modelo proposto por Sharp em 1973.

Embora com algumas semelhanças, o Método de Sharp é apresentado em modo diferenciado para elementos simples e para elementos duplos, pelo que se aplica a vertente mais próxima da realidade a cada um dos casos. No presente trabalho, para comparação dos valores previstos pelo Método de Sharp com os determinados *in situ* e em laboratório para pavimentos sem revestimento inferior, foi utilizada a vertente do método para elementos simples, ao passo que, para comparação de valores no caso dos pavimentos com revestimento inferior foi aplicada a versão do método para elementos duplos.

5.3.3.1. Elementos Simples

Estabelecendo uma analogia com o comportamento teórico descrito para um elemento simples em 5.3.1., a figura 5.9 deixa perceber claramente as zonas delimitadas pelo comportamento condicionado quer pela massa, com o índice R no eixo das ordenadas a crescer à razão de 6 dB por oitava, quer pela coincidência (depois da frequência crítica), com um aumento de R a 9 dB por oitava.

O modelo de cálculo agora apresentado não contabiliza os efeitos da ressonância nem da rigidez, razão pela qual as zonas condicionadas por estas mesmas variáveis não são visíveis na figura 5.9. No entanto, para o estudo corrente e para a área envolvida que se materializa na acústica de edifícios, as gamas de frequências em que geralmente ocorrem estas zonas de comportamento acústico dos elementos, não traduzem preocupações de maior, uma vez que se limitam a estar fora do limiar audível.

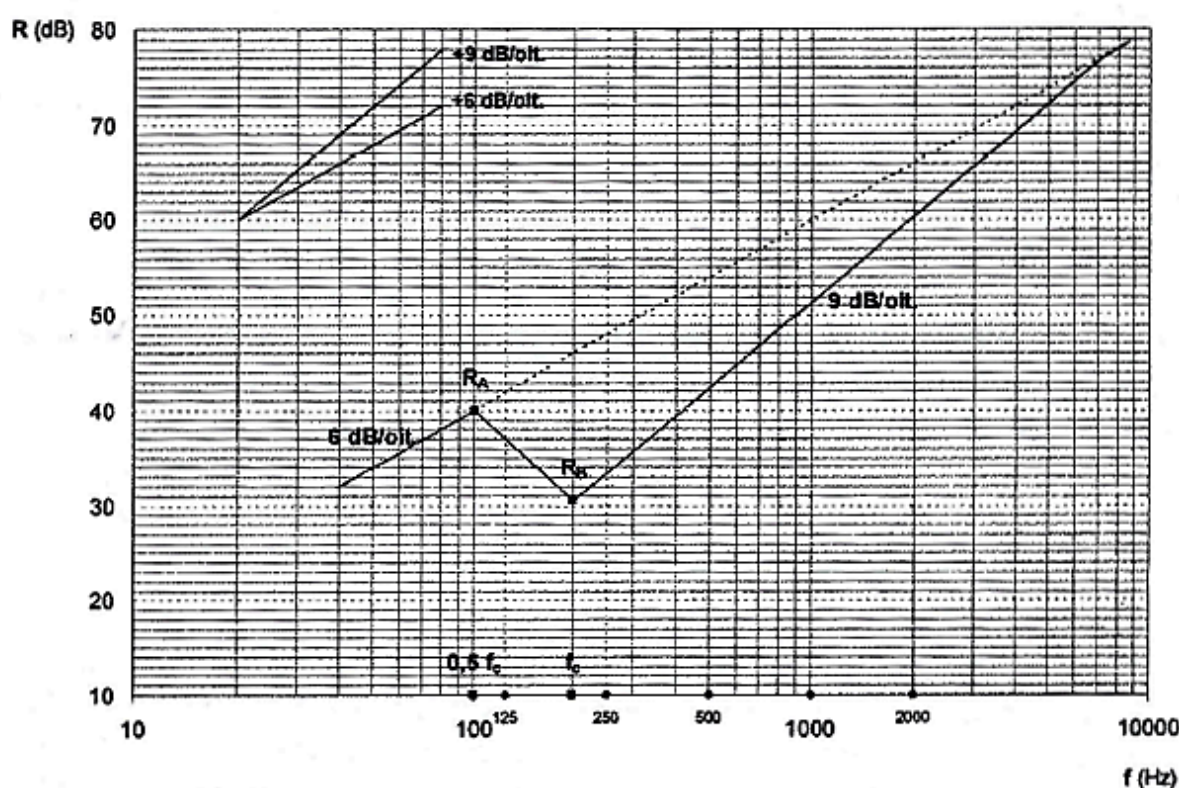


Figura 5. 9 - Marcação dos pontos notáveis e traçado da curva de R em função da frequência [6]

A aplicação da metodologia envolvente passa por determinar a frequência crítica, f_c , marcando posteriormente no eixo das abcissas (em escala logarítmica) os valores de f_c e $0,5 \times f_c$. Às abcissas marcadas correspondem as ordenadas, em escala linear, R_B e R_A , respetivamente.

$$R_A = 20 \times \log(f_c \times m) - 54 \quad (5.15)$$

$$R_B = 20 \times \log(f_c \times m) + 10 \times \log \eta - 45 \quad (5.16)$$

Onde:

- η – fator de perdas;
- m – massa superficial [kg/m^2].

Por último, a partir dos pontos calculados e marcados recentemente, traçam-se os segmentos de reta com declives de 6 dB e 9 dB por oitava, tendo em conta que na zona de coincidência, depois da interseção da reta de 9 dB por oitava com a de 6 dB por oitava, será de considerar a reta de 6 dB por oitava.

Aquando da inexistência de conhecimento acerca dos valores de η , fator de perdas, deve ser considerado um abaixamento em dB, para a frequência crítica e desde a reta da Lei da Massa com declive de 6 dB por oitava, de -7 dB. Isto, considerando um amortecimento interno médio para a madeira.

5.3.3.2. Elementos Duplos

Relativamente aos elementos duplos e à sua previsão comportamental no que diz respeito à acústica de edifícios, o Método de Sharp adequa-se essencialmente a divisórias leves, como é o caso das paredes em gesso cartonado, por exemplo. No entanto, também os pavimentos em madeira podem ser incluídos nesta área de compartimentação leve, embora na horizontal, pois são, entre os mais diversificados métodos de construir pavimentos, dos que apresentam menor peso próprio por metro quadrado.

Para a explicação da metodologia envolvida no modelo de cálculo, considere-se que os dois revestimentos do pavimento de madeira, superior e inferior, são numerados de 1 e 2, conforme a sua frequência crítica do seguinte modo: $f_{c_1} \leq f_{c_2}$. [6]

Assim sendo, os pontos essenciais ao traçado da curva representada na figura 5.10 são determinados com base nas equações que se seguem, de 5.17 a 5.27.

$$f_0 = 80 \times \sqrt{\frac{(m_1 + m_2)}{d \times m_1 \times m_2}} \quad (5.17)$$

$$f_1 = \frac{55}{d} \quad (5.18)$$

$$f_{c_2} = \frac{0.55 \times c^2}{c_{L2} \times h_2} \quad (5.19)$$

$$R_A = 20 \times \log(m_1 + m_2) + 20 \times \log(f_0) - 48 \quad (5.20)$$

$$R_{B1} = R_A + 20 \times \log\left(\frac{f_{c1}}{f_0}\right) - 6 \quad (5.21)$$

$$R_{B2} = 20 \times \log(m_1) + 10 \times \log(b) + 30 \times \log(f_{c2}) + 20 \times \log \left[1 + \left(\frac{m_2 \times f_{c1}^{0.5}}{m_1 \times f_{c2}^{0.5}} \right) \right] - 78 \quad (5.22)$$

$$R_{B2} = 20 \times \log(e \times m_1) + 40 \times \log(f_{c2}) - 99 \quad (5.23)$$

$$R_{B2} = 20 \times \log(e \times m_1) + 40 \times \log(f_{c2}) + 20 \times \log \left[1 + \left(\frac{m_2 \times f_{c1}}{m_1 \times f_{c2}} \right) \right] - 105 \quad (5.24)$$

$$R_C = R_B + 6 + 10 \times \log \eta_2 \quad (5.25)$$

$$R_C = R_B + 6 + 10 \times \log \eta_2 + 5 \times \log \eta_1 \quad (5.26)$$

$$R_C = R_A + 60 \times \log \left(\frac{f_1}{f_0} \right) \quad (5.27)$$

Onde:

- m_i – massa superficial do painel i [kg/m^2];
- c – velocidade do som no ar [m/s];
- c_{Li} – velocidade do som no material i [m/s];
- h_i – espessura do material i [m];
- e – espaçamento de grelha retangular entre os pontos de suporte do painel [m];
- b – espaçamento entre os suportes em linha [m];
- d – espessura da caixa de ar [m].

Deve ter-se em conta que R_B é igual a R_{B1} caso não haja material absorvente na caixa de ar entre os dois revestimentos. Caso este material exista, R_B é o maior de R_{B1} e R_{B2} . A equação 5.22 aplica-se no caso de existirem apoios em linha-linha, a 5.23 no caso de apoios em linha-ponto e a 5.24 no caso de apoios em ponto-ponto.

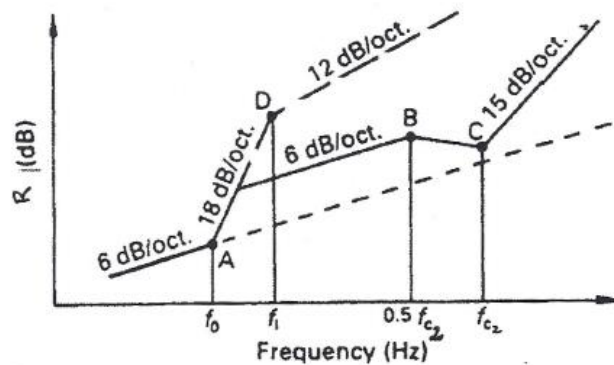


Figura 5. 10 - Método gráfico de Sharp para determinação dos valores de R em função da frequência para pavimentos com revestimento inferior (leves) [6]

5.3.4. MÉTODO DE CREMER

No que diz respeito aos sons de percussão, um dos modelos de cálculo existentes para previsão do comportamento acústico de elementos de construção baseia-se em Cremer *et al.* de 1988, denominado Método de Cremer.

Este método foi mesmo transposto para normativa, estando definido no anexo B da norma EN 12354-2. No entanto, a expressão geral deste método que acarreta alguma dificuldade, conta com o fator de radiação, σ , e com o tempo de reverberação estrutural, T_s . Ambos os parâmetros dependem de valores que podem ser determinados de acordo com o exposto nos anexos B e C da norma EN 12354-1.

A expressão geral do Método de Cremer é traduzida pela equação 5.28, em dB por terço de oitava.

$$L_n \approx 155 - 30 \times \log(m) + 10 \times \log(T_s) + 10 \times \log(\sigma) + 10 \times \log\left(\frac{f}{1000}\right) \quad (5.28)$$

Onde:

- m – massa por unidade de área [kg/m^2].

Para uma melhor compreensão das variáveis envolvidas, bem como do raciocínio por detrás do Método de Cremer, aconselha-se a leitura das partes 1 e 2 da norma EN 12354, de abril e março de 2000, respetivamente.

5.3.5. MODO DE ABORDAGEM DOS MODELOS DE CÁLCULO

O trabalho aqui presente desde o seu início que aborda uma temática com carácter extremamente experimental, recorrendo à teoria de base sempre que necessário. No entanto, esta teoria serve apenas para fundamentar a parte prática que foi levada a cabo, quer nos ensaios *in situ*, quer nos ensaios laboratoriais, sendo essa a componente central e essencial para a retirada das conclusões que se pretende.

Assim sendo, entendeu o autor por bem recorrer a *software*, que não é diferente daquele que os projetistas de acústica usam no seu dia-a-dia como ferramenta de trabalho, para a aplicação dos modelos acima mencionados em 5.3.3. e em 5.3.4. Esses mesmos modelos de cálculo são referenciados pelos autores da rotina informática utilizada, confirmando assim a aplicação da teoria pretendida.

Deste modo os cálculos teóricos seguindo o Método de Sharp, assim como o Método de Cremer, foram conseguidos por utilização da rotina informática *INSUL*, versão 8.0, da qual se obteve licença de utilização gratuita perante a explicação dos objetivos do presente trabalho à empresa tutora do *software*.

Conseguiu-se assim uma economia de tempo valiosa para o desenvolvimento mais aprofundado de outras vertentes do trabalho, nomeadamente os ensaios laboratoriais.

5.3.6. VARIÁVEIS ASSOCIADAS AOS PAVIMENTOS EM MADEIRA

Para o desenvolvimento dos modelos de cálculo de previsão do isolamento sonoro proporcionado pelos pavimentos em madeira, torna-se necessária a adoção de variáveis sem as quais não se materializam teoricamente os elementos desejados. Assim sendo, recorrendo à bibliografia disponível, que por sua vez é resultado de trabalhos experimentais e desenvolvimentos teóricos outrora concretizados,

conseguem-se encontrar os valores resumidos no quadro 5.17, resumindo as propriedades necessárias do pinho bravo [6 e 32] e ainda do fasquiado com estuque [12].

Quadro 5. 17 – Propriedades mecânicas do pinho bravo e do fasquiado com estuque

Elemento	E [Mpa]	Massa volumica [kg/m ³]	Fator de perdas [η]	Velocidade de propagação das ondas longitudinais, C _L [m/s]	Coefficiente Poisson [ν]
Pinho bravo	11 000	480	0.045	4 830	0.4
Fasquiado	12 200	1500	0.015	1 600	0.2

5.3.7. MEIO DE COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS

Obtidos os resultados dos ensaios *in situ* aos pavimentos em madeira, torna-se o momento certo para estabelecer a comparação destes com os resultados encontrados na estimação através dos modelos de cálculo, bem como através dos ensaios acústicos em laboratório, como se descreve adiante no capítulo 6. No entanto, *in situ*, são obtidos os índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea e o equipolente para sons de percussão, enquanto que através da estimação por modelos de cálculo e laboratorialmente, aquilo que se obtém é o índice de redução sonora a sons de condução aérea e o índice de isolamento sonoro a sons de percussão, normalizado. Estes dois últimos, não englobam no seu cálculo as transmissões marginais, que por outro lado, são importantes na determinação *in situ* do isolamento sonoro proporcionado pelos pavimentos. Assim sendo, de modo a tornar todos estes resultados comparáveis, é necessária a introdução, ainda que de modo aproximado, das transmissões marginais nos valores obtidos em laboratório e por base dos modelos de cálculo. Esse procedimento é agora explicado.

O cálculo dos K_{ij}, contabilizando as transmissões marginais dos sons aéreos e também dos sons de percussão, são variáveis que seguindo o seu cálculo rigoroso implicam um processo moroso e detalhado, bem como o conhecimento específico acerca das tecnologias construtivas empregues. No âmbito do presente trabalho pretende-se uma abordagem relativamente rápida e essencialmente mais prática, não havendo por outro lado um conhecimento detalhado das soluções construtivas encontradas nos edifícios ensaiados acusticamente. Assim sendo, quer para sons aéreos, quer para sons de percussão, seguiram-se metodologias simplificadas e práticas de englobamento das transmissões marginais nos cálculos pretendidos.

5.3.7.1. Sons Aéreos

Conforme o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, RRAE, de 2008, consegue-se considerar os efeitos das transmissões marginais, obtendo o valor de D_{nT,w}, partindo do valor de R_w, índice de redução sonora a sons de condução aérea, através da expressão 5.29.

$$D_{nT,w} = R_w + \left[10 \times \log \left(\frac{0.16 \times V}{S \times T_0} \right) - K_{TM} \right] \quad (5.29)$$

Onde:

- T_0 – 0.5 segundos em geral;
- S – área do elemento de separação [m^2];
- V – volume do compartimento recetor [m^3];
- K_{TM} – constante que atende ao efeito das transmissões marginais, variando em geral entre os valores de 0 a 7 dB.

O valor que diz respeito às transmissões marginais (K_{TM}) pode ser de 0 dB quando todos os elementos da envolvente (sendo estes os responsáveis pelos valores presumíveis de transmissões marginais) têm um R_w muito superior (por exemplo, mais do que 6 dB) ao do pavimento em estudo, por onde se arbitra a passagem do som direto. [6]

Considerando as variáveis envolvidas, resume-se a aplicação da equação 5.29, ao quadro 5.18.

Quadro 5. 18 – Variáveis dos casos em análise e determinação de $D_{nT,w}$ com base em R_w

Pavimento em madeira	V [m^3]	S [m^2]	K_{TM}	R_w	$D_{nT,w}$
Caso 1	62,0	14,0	0	34	36
Caso 2	41,0	7,5	0	25	27
Caso 3	41,0	7,8	0	25	27
Caso 4	17,6	7,0	0	28	27
Caso 5	22,8	10,9	0	28	26
Caso 6	68,8	24,8	0	28	27
Caso 7	25,2	10,6	0	29	28
Caso 8	99,2	5,8	0	37	44
Caso 9	36,2	15,8	0	31	30
Caso 10	100,0	16,5	0	48	51

5.3.7.2. Sons de Percussão

Na norma EN 12354-2 é possível encontrar um método simplificado através do qual se consegue prever o índice de isolamento sonoro a sons de percussão padronizado (cumprindo o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios de 2008), partindo do índice de isolamento sonoro a sons de percussão normalizado, obtido através dos modelos de previsão teóricos ou em laboratório.

Dado o tempo e trabalho despendidos para a aplicação do método rigoroso descrito na norma indicada, este método simplificado que agora se emprega, torna-se melhor e mais rápido numa comparação entre complexidade e resultado final. No entanto, a norma encontra-se orientada neste tema, especificamente, para lajes de betão armado, não tendo sido desenvolvido este método simplificado para pavimentos em madeira, alternativa que seria desejada. O método é descrito pela equação 5.30.

$$L'_{nT,w} = L_{n,w} - 10 \times \log\left(\frac{0.016 \times V}{T_0}\right) + K_{TM} \quad (5.30)$$

Onde V e T_0 representam o mesmo que em 5.29, sendo que o valor de K_{TM} pode ser encontrado no quadro 5.19 [6].

Quadro 5. 19 – Excerto dos valores de K_{TM} segundo a EN 12354-2:2000

Massa superficial do pavimento [kg/m ²]	Massa superficial média dos elementos marginais (paredes) homogéneos e não revestidos [kg/m ²]								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
100	1	0	0	0	0	0	0	0	0
150	1	1	0	0	0	0	0	0	0
200	2	1	1	0	0	0	0	0	0
250	2	1	1	1	0	0	0	0	0
300	3	2	1	1	1	0	0	0	0
350	3	2	1	1	1	1	0	0	0
400	4	2	2	1	1	1	1	0	0
450	4	3	2	2	1	1	1	1	1
500	4	3	2	2	1	1	1	1	1
600	5	4	3	2	2	1	1	1	1
700	5	4	3	3	2	2	1	1	1
800	6	4	4	3	2	2	2	1	1
900	6	5	4	3	3	2	2	2	2

Este valor de K_{TM} , associado às transmissões marginais, apresenta em todos os casos aqui retratados o valor de 0. Tratam-se de pavimentos que na sua grande maioria apresentam duas paredes da envolvente em alvenaria de pedra com uma massa superficial de 545 kg/m² (considerando uma parede em alvenaria de pedra com 0.20 m de espessura), sensivelmente, sendo que as duas restantes paredes que os contornam são em geral paredes de tabique, apresentando uma massa superficial de 225 kg/m² (considerando uma parede em tabique com 0.15 m de espessura), aproximadamente [12 e 41]. Deste modo a massa superficial média dos elementos envolventes ronda os 400 kg/m², contrastando com a massa superficial dos pavimentos em madeira que não vai além dos 100-150 kg/m².

Por aplicação da equação 5.30, tendo em conta as variáveis que interessam na obtenção do valor final, é possível o desenvolvimento do quadro 5.20.

Quadro 5. 20 - Variáveis dos casos em análise e determinação de $L'_{nT,w}$ com base em R_w

Pavimento em madeira	V [m ³]	T ₀ [s]	K _{TM}	L _{n,w}	L' _{nT,w}
Caso 1	62,0	0,5	0	80	77
Caso 2	41,0	0,5	0	95	94
Caso 3	41,0	0,5	0	95	94
Caso 4	17,6	0,5	0	87	89
Caso 5	22,8	0,5	0	81	82
Caso 6	68,8	0,5	0	77	74
Caso 7	25,2	0,5	0	84	85
Caso 8	99,2	0,5	0	73	68
Caso 9	36,2	0,5	0	81	80
Caso 10	100,0	0,5	0	66	61

6

ENSAIOS LABORATORIAIS

6.1. INTRODUÇÃO

Concluída a fase de ensaios *in situ* que permitiu a recolha dos dados acústicos apresentados no capítulo 5, e seleccionados os modelos de cálculo teóricos que se pretendem empregar para uma comparação de resultados, é o momento de apresentar os ensaios laboratoriais, bem como os seus resultados.

A realização de ensaios acústicos laboratoriais é de extrema importância para o trabalho desenvolvido. Aquando da realização de ensaios *in situ* nos pavimentos em madeira foram recolhidos dados que, depois de tratados, permitem perceber a enorme variabilidade que os índices de isolamento sonoro, quer a sons de condução aérea, quer a sons de percussão, apresentam. Mesmo quando aparentemente tudo indicaria que os índices recolhidos iriam ser semelhantes, dadas as variantes que se assemelhavam, estes provaram o contrário.

Deste modo, reconstituindo em laboratório um pavimento-tipo que em tudo se assemelha aos encontrados nos edifícios onde se realizaram ensaios acústicos, é possível perceber a variação do isolamento sonoro em função de variáveis que se pretendem estudar. Laboratorialmente estamos perante circunstâncias completamente distintas dos ensaios *in situ*, o que aponta para o aspeto positivo de existirem menos variáveis influenciadoras do resultado final. Nas câmaras acústicas facilmente se controlam os parâmetros envolventes nos cálculos dos índices de isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão, pelo que se consegue recolher dados isentos de interferências indesejadas.

A comparação final entre os resultados recolhidos *in situ*, os resultados fornecidos pelos modelos de cálculo e os resultados recolhidos laboratorialmente, consiste numa mais valia para as conclusões que se pretendem retirar.

6.2. INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

6.2.1. CÂMARAS REVERBERANTES

A realização de ensaios acústicos em laboratório exige a presença de condições especiais na envolvente, sendo que, neste caso, os ensaios realizados foram levados a cabo nas câmaras reverberantes da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, FEUP. As mesmas estão localizadas no edifício G, naquele que é o Laboratório da Secção de Construções Cíveis da faculdade. Sendo salas com elevado tempo de reverberação, as câmaras reverberantes são utilizadas essencialmente para a determinação do coeficiente de absorção sonora e do isolamento sonoro a ruídos aéreos ou de percussão, sendo que no presente caso foi para esta última funcionalidade que foram requeridas.

A figura 6.1 apresenta um corte vertical das câmaras reverberantes utilizadas, sendo que as que foram usadas para os ensaios que seguidamente se descrevem, correspondem à câmara emissora 2 (E2) e à câmara recetora 1 (R1), uma vez que teve lugar a construção do pavimento em madeira na gola que separa estes dois espaços.

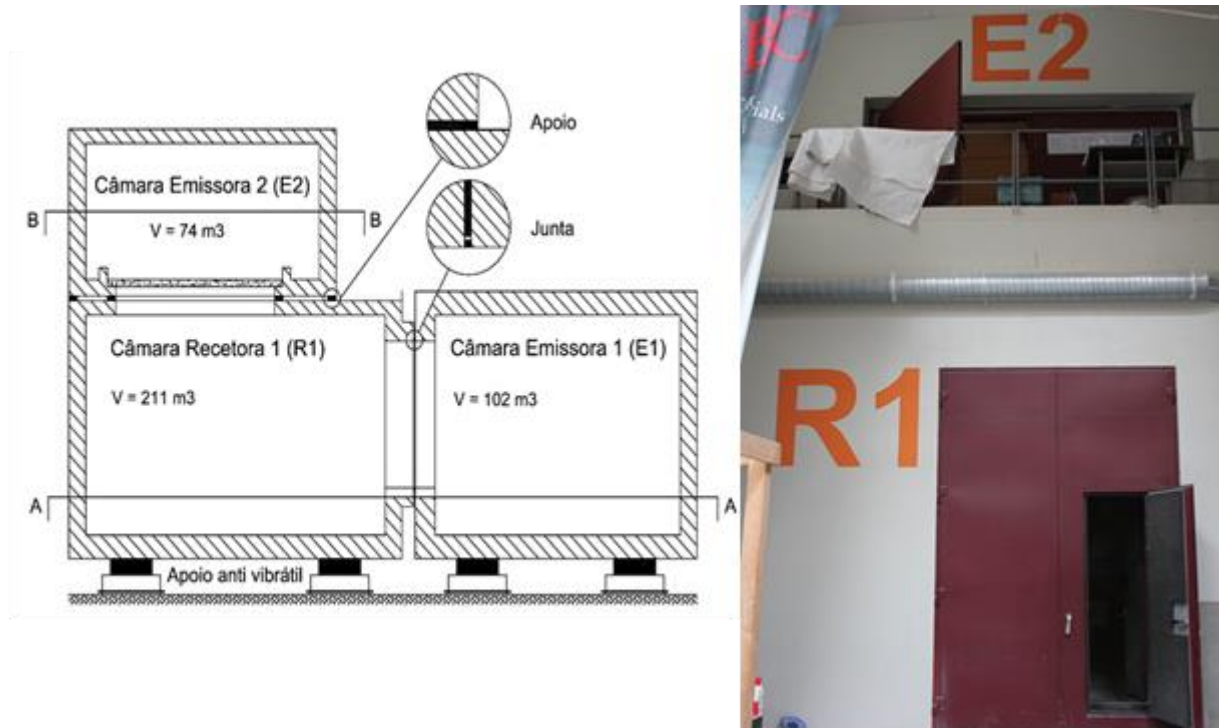


Figura 6. 1 - Corte vertical das câmaras reverberantes da FEUP à esquerda e fotografia do acesso às câmaras reverberantes E2 e R1, à direita

Ainda como é visível na figura 6.1, o local emissor apresenta um volume de 74 m^3 , E2, enquanto que o local recetor, R1, contabiliza 211 m^3 de volume. As estruturas destes dois espaços encontram-se em contacto por meio de apoios, impedindo estes a continuidade de qualquer vibração produzida numa das superfícies dos compartimentos. Por sua vez, a câmara recetora, R1, não se encontra apoiada no solo, mas antes ligada a este por meio de apoios anti vibráteis, pneumáticos.

A gola que separa as câmaras E2 e R1, com uma área de 15 m^2 (4.6×3.4), sensivelmente, está habitualmente preenchida por uma laje de betão armado com um peso próprio de aproximadamente 8 toneladas, amovível. Foi exatamente nesta gola que após a remoção da laje de betão armado se construiu o pavimento em madeira para posterior ensaio. O facto da porta da câmara R1 ter de dimensões $2.60 \times 3.00 \text{ m}^2$, aliado às dimensões reduzidas em altura da porta da câmara E2, são fatores limitativos que tornam a remoção da laje em betão armado numa operação morosa e complicada.

A câmara emissora E1 serviu durante a realização dos ensaios acústicos apenas para apoio técnico, não tendo sido utilizada com qualquer outra função.

6.2.2. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

No que diz respeito aos equipamentos acústicos utilizados para a realização dos ensaios laboratoriais do pavimento em madeira, estes foram iguais, à exceção da fonte sonora para sons de condução aérea que foi idêntica e de iguais propriedades acústicas e mecânicas, aos utilizados nos ensaios acústicos *in situ*, pelo que para maior detalhe sobre este tema aconselha-se a leitura do ponto 4.3.2. do capítulo 4. Todos os equipamentos se encontram adequados aos ensaios realizados, conforme a legislação assim o exige.



Figura 6. 2- Sonómetro (à esquerda), fonte sonora (à direita em cima) e máquina de percussão (à direita em baixo) utilizados nos ensaios laboratoriais

6.2.3. EXIGÊNCIAS LEGISLATIVAS

As câmaras reverberantes utilizadas para os ensaios de isolamento sonoro a sons de condução aérea, bem como a sons de percussão, assim como os equipamentos utilizados, respeitam a normalização que os aborda, garantindo deste modo a transparência dos resultados recolhidos sem interferências indesejadas. Os ensaios realizados durante o presente trabalho podem vir a ser reproduzidos por outras identidades e/ou talvez até em países diferentes, pelo que importa dar a conhecer a normativa seguida, nomeadamente para as condições de ensaio, locais e equipamentos. Segue-se deste modo a norma ISO 10140-5, na sua primeira edição de setembro de 2010, e onde se descrevem as exigências relativas às instalações e equipamentos de ensaio [33].

6.2.3.1. Sons Aéreos

Relativamente às câmaras reverberantes utilizadas para a realização dos ensaios a sons de condução aérea no pavimento em madeira, estas possuem um volume superior a 50 m³ tal como exigido na norma ISO 10140-5, sendo que as dimensões das câmaras utilizadas são distintas, tal como recomendado na mesma norma. O procedimento normativo aconselha ainda há existência de campo sonoro difuso, o que foi considerado e garantido.

A norma agora abordada estabelece um ponto específico acerca do tempo de reverberação das câmaras reverberantes, referindo que este não deve ser excessivamente longo ou curto, independentemente da absorção sonora proporcionada pelo pavimento em madeira a ensaiar. Assim sendo, para frequências iguais ou superiores a 100 Hz, quando o tempo de reverberação é superior a 2 segundos ou inferior a 1 segundo, deve-se verificar se o índice de redução sonora registado depende do tempo de reverberação. Se essa dependência for encontrada, mesmo com difusão no espaço, as câmaras reverberantes devem ser ajustadas de modo a que o tempo de reverberação satisfaça a equação 6.1.

$$1 \leq T \leq 2 \times \left(\frac{V}{50}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (6.1)$$

Onde:

- V – volume da câmara reverberante em m³;
- T – tempo de reverberação em s.

Isto equivale a que o tempo de reverberação da câmara reverberante emissora, E2, se situe no intervalo entre 1 segundo e 2.6 segundos, e o tempo de reverberação da câmara recetora, R1, se situe no intervalo compreendido entre 1 segundo e 5.2 segundos, conforme análise na equação 6.1 das volumetrias respetivas para cada câmara reverberante.

Um outro aspeto para que a ISO 10140-5 alerta é para o facto de as transmissões marginais apresentarem transmissões sonoras que não interfiram, garantidamente, com o registo das transmissões sonoras por via direta, através do elemento em ensaio, neste caso, através do pavimento em madeira.

6.2.3.2. Sons de Percussão

Relativamente aos ensaios de isolamento sonoro a sons de percussão, a norma ISO 10140-5 não impõe restrições no que à volumetria das câmaras reverberantes utilizadas diz respeito, exigindo apenas que a câmara reverberante recetora, R1, possua um volume não inferior a 50 m³, pelo que o volume de 211 m³ cumpre a especificação da norma. No entanto, para a determinação do isolamento sonoro proporcionado por elementos de revestimento de pavimentos, existem especificações próprias e variadas que devem ser cumpridas, não se aplicando no caso do presente trabalho uma vez que não é aqui ensaiado laboratorialmente nenhum revestimento de piso.

Perante a normalização, o pavimento a ensaiar deve ter entre 10 m² e 20 m², sendo que a sua aresta de menores dimensões deve ser superior a 2.30 m. A leitura do ponto que se segue, 6.3, permite perceber que o pavimento em madeira ensaiado respeita todas estas condições.

6.2.3.3. Equipamentos para os Ensaios

No que diz respeito aos sons aéreos, o campo sonoro produzido e sentido nas câmaras reverberantes depende do tipo e posição da fonte sonora. Também sobre este aspeto a norma ISO 10140-5 é esclarecedora. A posição da fonte sonora deve ser tal que permita estabelecer, do melhor modo possível, um campo sonoro difuso. As diferentes posições e direccionalidades da fonte sonora devem permitir diferentes posições do microfone fora do campo sonoro direto da fonte, assim como garantir que a radiação sonora não atue unicamente de modo dominante sobre a superfície do pavimento em ensaio. As posições fixas da fonte sonora são descritas no anexo D da norma ISO 10140-5. Deve ainda garantir-se a existência de um espectro contínuo provocado por um ruído branco, por exemplo.

Relativamente ao equipamento utilizado no ensaio de isolamento sonoro a sons de percussão, a máquina deve ser normalizada, cumprindo as especificações do anexo E da norma ISO 10140-5.

Todos os restantes equipamentos, incluindo os sonómetros utilizados, devem cumprir rotinas de inspeção prévias que permitam perceber a sua correta calibração e como tal, a viabilidade dos mesmos para serem utilizados nos ensaios de isolamento sonoro em laboratório. Tal aspeto foi verificado e confirmado.

6.3. ELEMENTO DE COMPARTIMENTAÇÃO HORIZONTAL PARA ENSAIO

Com o objetivo de se ensaiar acusticamente um pavimento em madeira nas câmaras reverberantes da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, desde o início do presente trabalho que a sua constituição começou a ser pensada e refletida. A principal conclusão retirada desde a data que marcou o início da discussão em torno do elemento de compartimentação horizontal a ensaiar, passou pelo entendimento de que o pavimento em madeira deveria estar o mais próximo possível daqueles que foram encontrados no património edificado, aquando dos ensaios *in situ*. Só numa situação semelhante poderiam ser encontrados resultados que permitissem a comparação entre os isolamentos sonoros de ambos os pavimentos.

A área do pavimento a ensaiar corresponde à área do elemento de separação entre as câmaras reverberantes utilizadas, sendo de aproximadamente 15 m², com 4.22 m numa direção e 3.45 m na direção oposta.

Assim sendo, uma das primeiras escolhas a tomar passaria por selecionar o tipo de madeira para o pavimento, sendo que à partida se conheciam as espécies mais comuns em pavimentos de madeira, como o castanho, o carvalho e o pinho, como se refere em 3.3.2., acerca de *Tipos de Madeira Utilizados em Pavimentos*. Ponderada a maior utilização de cada espécie de madeira, enquanto se repensavam os aspetos económicos, selecionou-se o pinho bravo para a construção do pavimento. Apresentando custos inferiores ao castanho e ao carvalho, este apresenta a resistência e restantes propriedades físicas e mecânicas pretendidas. Esta e as restantes propriedades do pavimento a construir em laboratório acabariam por ser decididas tendo por base a predominância das mesmas nos pavimentos em madeira observados *in situ*.

Por outro lado, todas as características físicas do pavimento tiveram que ser selecionadas tendo como base os fundos monetários disponibilizados. Assim sendo, os tarugos (número 3 da figura 6.3) normalmente presentes neste tipo de pavimentos, foram dispensados e não incluídos. Representam, estes últimos, a única discordância entre o pavimento de madeira ensaiado nas câmaras reverberantes e aqueles que se encontram *in situ*. No entanto, os tarugos são sempre elementos secundários da estrutura resistente dos pavimentos em madeira, tendo como principal função, fundamentalmente, o travamento

das vigas principais. No caso do ensaio laboratorial deste pavimento, as vigas apresentam um vão relativamente reduzido, 3.45 m, o que por sua vez dispensa um travamento adicional.

Relativamente às vigas do pavimento, estas foram dimensionadas tomando como ações de solicitação uma carga representativa de uma atuação concentrada sobre o pavimento (para a qual se arbitrou uma carga de 1kN), e os diferentes equipamentos acústicos como a fonte sonora e a máquina de percussão. Posto isto e considerando as propriedades resistentes do pinho bravo, foram tomadas como dimensões para as vigas (número 2 da figura 6.3) 8 cm de largura por 11 cm de altura, tendo as mesmas 3.45 m de comprimento, afastadas entre si de 50 cm, figura 6.4.



Figura 6. 3 – Pavimento tipo ensaiado, à exceção do número 3 (tarugos) [5]



Figura 6. 4 - Vigas de madeira utilizadas na estrutura de suporte do pavimento

No que diz respeito ao soalho, também este se materializou em pinho bravo, com ligação concretizada em macho-fêmea (ver 3.3.3.4.). Foi seleccionada uma espessura de 3 cm para as placas de pinho, tendo em conta a média da espessura encontrada nos pavimentos *in situ* (número 1 da figura 6.3). Ainda assim, os 3 cm de espessura empregues adequam-se de modo eficaz aos ensaios acústicos realizados, figura 6.5.



Figura 6. 5 - Soalho em pinho utilizado nos ensaios acústicos

Por último, e completando a figura 6.3 com o número 4, optou-se pela construção de um teto em fasquiado com estuque, revestindo assim inferiormente o pavimento em madeira. Também tentando retratar ao máximo possível aquilo que são os tetos estucados encontrados no património edificado do século XVIII e XIX, o fasquiado é constituído por uma grelha quadrada de ripas em pinho, tendo estas 3 cm de espessura em ambas as direções. Surge posteriormente o reboco tradicional em estuque, com acabamento liso, assegurando o revestimento inferior do pavimento em madeira com uma caixa de ar de sensivelmente 20 cm, figura 6.6. O reboco foi materializado em gesso de cor branca de revestimento interior de aplicação mecânica, B1/50/02, sem características de isolamento acústico a sons aéreos declaradas [48].



Figura 6. 6 - Aplicação do revestimento inferior do pavimento em fasquiado com estuque

A caixa de ar apresenta nos pavimentos ensaiados *in situ*, em geral, dimensões que rondam os 20 cm de espessura, pelo que os 11 cm de espessura das vigas de madeira se tornam insuficientes para garantir esta característica. Assim sendo, procedeu-se à fixação de tábuas de madeira de pinho, com 1.5 cm de espessura e 12 cm de comprimento, nas vigas do pavimento, através de parafusos introduzidos mecanicamente, figura 6.7. Com esta modificação garante-se a caixa de ar pretendida, com 20.5 cm, mantendo-se esta variante em todos os ensaios após a construção do teto em fasquiado com estuque.



Figura 6. 7 - Tabuado de pinho aparafusado às vigas, também estas em pinho

A construção do pavimento em madeira para ensaios acústicos foi coordenada tendo em conta os objetivos de análise pretendidos, abrangendo deste modo o maior número de soluções possíveis.

6.4. VARIANTES DE PAVIMENTOS EM MADEIRA ENSAIADAS

Os pavimentos em madeira encontrados nos edifícios que permitiram os ensaios acústicos de isolamento sonoro a sons aéreos, bem como a sons de percussão, destes elementos de compartimentação horizontal, aprovaram a teoria existente de que a variedade e multiplicidade de soluções de construção destes elementos é gigantesca. De facto, durante os ensaios acústicos *in situ*, quando variava o edifício, era quase regra obrigatória, mudar a constituição do pavimento. Não se conseguiu identificar no presente trabalho dois pavimentos exatamente iguais de edifícios distintos. Tal fenómeno prende-se essencialmente com a época de construção dos edifícios, em que cada um destes era construído “à medida” conforme as necessidades e possibilidades das famílias proprietárias. Quando os compartimentos englobavam grande nobreza, o requinte surgia ao ponto de aumentar a espessura do soalho e também do reboco em estuque. Este facto alertou à partida para a necessidade de diferentes variantes do pavimento em madeira a ensaiar acusticamente em laboratório.

Por outro lado, existia a curiosidade do autor de ver ensaiadas pequenas variantes deste tipo de pavimentos em madeira, baseada na ideia de que o isolamento sonoro proporcionado por estes elementos seria assim melhorado significativamente. Assim sendo, recorreu-se a três materiais auxiliares nos ensaios acústicos realizados, nomeadamente:

- Apoio resiliente – Densidade 200 kg/m³ [31];
- Apoio resiliente – Densidade 650 kg/m³ [42];
- Lã mineral – Densidade 70 kg/m³, espessura de 7 cm.

A construção faseada do pavimento descrito em 6.3, *Elemento de compartimentação horizontal para ensaio*, associada à inclusão dos três materiais descritos recentemente acima, permitiu a constituição da metodologia de ensaio que agora se apresenta, analisando deste modo as variantes pretendidas e permitindo o maior número de comparações possíveis entre resultados finais.

Para comodidade do leitor resumem-se as dimensões de cada elemento de construção no quadro 6.2.

Quadro 6. 1 - Dimensões dos elementos de construção do pavimento em madeira

Elemento	Largura [m]	Altura [m]	Extensão [m]
Caixa de ar	3.45	0.205	4.22
Soalho	0.13	0.030	2.50
Vigas	0.08	0.110	3.45
Fasquiado	0.03	0.060	1.50
Apoio resiliente	0.08	0.005	3.45
Lã de rocha	1.00	0.070	1.00

O primeiro pavimento descrito, ensaio A, analisa apenas o isolamento sonoro a ruídos de condução aérea, bem como a ruídos de percussão, do soalho em conjunto com as vigas de madeira. Deste modo, consegue-se ensaiar acusticamente um pavimento sem revestimento inferior que corresponde na íntegra aos pavimentos dos casos 2 e 3, onde se realizaram ensaios idênticos *in situ* e que permitem agora a retirada das conclusões pretendidas.



Figura 6. 8 - Vigamento em madeira (à esquerda) e soalho pronto a ensaiar, ensaio A (à direita)

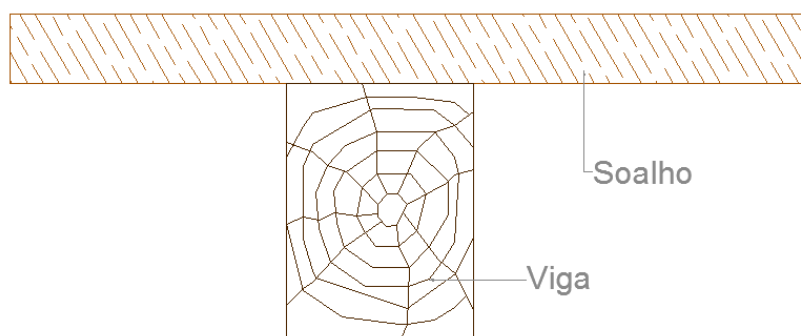


Figura 6. 9 - Corte esquemático da solução de ensaio A

A segunda solução de pavimento, ensaio B, é em tudo semelhante à primeira, ensaio A, sendo que se introduzem em cada uma das vigas apoios resilientes imediatamente antes do soalho, perdendo este, assim, o contacto com as vigas. Esta solução foi concretizada de modo a perceber a influência do desligamento entre as vigas e o soalho e a melhoria no isolamento sonoro, principalmente a sons de percussão, que estes apoios resilientes conseguirão introduzir. Os apoios foram introduzidos ao longo de todo o comprimento da viga em madeira, possuindo uma densidade de 200 kg/m^3 . Como modo de fixação destes elementos optou-se por uma colagem pontual, não fixando os apoios mecanicamente nas vigas de madeira. Já o soalho encontra-se aparafusado às vigas, garantindo assim a sua estabilidade.



Figura 6. 10 - Colocação do apoio resiliente sobre as vigas (à esquerda) e aplicação do soalho sobre o mesmo (à direita)

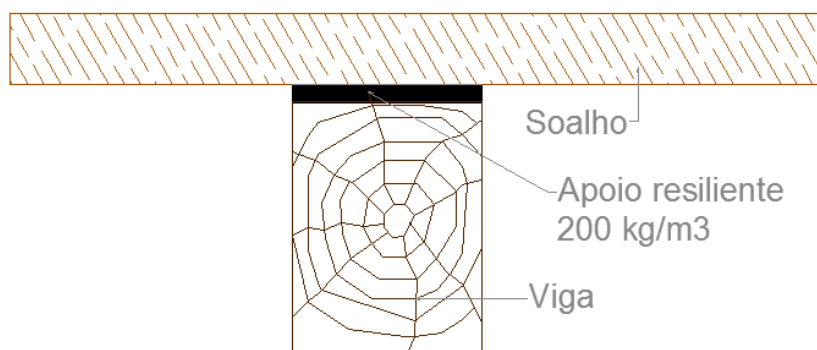


Figura 6. 11 - Corte esquemático da solução de ensaio B

Modificando ligeiramente a solução construtiva anterior, foi ensaiada acusticamente a terceira variante de pavimento em madeira, ensaio acústico em laboratório C, sendo que a única diferença em relação ao ensaio B, consiste na substituição do apoio resiliente de densidade 200 kg/m^3 , pelo apoio resiliente em borracha de densidade 650 kg/m^3 . Também contrastando com o que se concretizou no ensaio B, no ensaio acústico C, os apoios não foram colocados sobre as vigas de madeira de modo contínuo, mas sim de modo alternado, possuindo entre si um afastamento médio de 28 cm. No entanto, também estes apoios foram fixados às vigas de madeira através de colagem pontual, não recorrendo à fixação mecânica. Não sendo estes apoios contínuos, torna-se natural a existência de espaços ao longo do comprimento linear das vigas que podem eventualmente entrar em contacto com o soalho perante uma ação de percussão. Através da comparação dos resultados provenientes deste ensaio com os que provém do ensaio B consegue-se perceber qual a melhor solução para melhoramento do comportamento acústico de pavimento em madeira.



Figura 6. 12 - Colocação do apoio resiliente de maior densidade sobre as vigas (à esquerda) e assentamento do soalho sobre o mesmo (à direita)

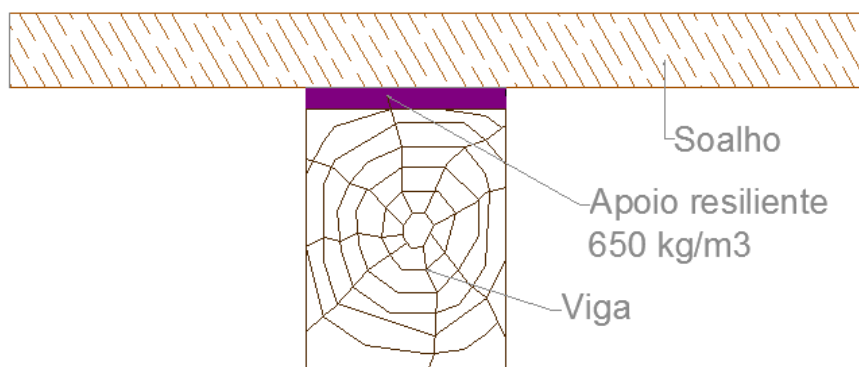


Figura 6. 13 - Corte esquemático da solução de ensaio C

A quarta variante de pavimento em madeira em análise nas câmaras reverberantes, ensaio D, vem introduzir o revestimento inferior ao pavimento descrito na solução de construção C. A primeira das duas diferenças entre estes dois pavimentos encontra-se na presença do fasquiado com estuque, que serve agora de teto à câmara recetora, R1, na gola que a separa da câmara emissora, E2, sendo que a outra diferença indica a presença da lã de rocha na caixa de ar.

Esta variante de pavimentos em madeira permitiu ainda a inclusão de um ensaio de isolamento sonoro a sons de condução aérea de teste, levado a cabo passado apenas 4h do término da construção do reboco do teto, que se concretizou tendo como principal intenção a comparação dos resultados com os obtidos passado 60h ou mais, da concretização do reboco. O que se pretende perceber é qual a diferença a nível de isolamento sonoro proporcionado pelo pavimento em madeira enquanto este apresenta as argamassas húmidas e num ponto de situação posterior, quando estas se apresentam secas. Não foram realizados ensaios a sons de percussão uma vez que com a argamassa húmida se corria o risco de descolagem e queda da mesma. Aquando da realização do ensaio de teste ao fim de 4h o apoio resiliente sobre as vigas não vigora.

Também este ensaio marca a colocação do tabuado fixo nas vigas de madeira, permitindo o aumento da espessura da caixa de ar. Com esta solução pretende-se perceber a influência do revestimento inferior

nos pavimentos em madeira no que diz respeito ao isolamento sonoro proporcionado pelos mesmos. Mantém-se ainda a colocação do apoio resiliente de 200 kg/m^3 de densidade, de modo contínuo sobre as vigas, para posterior comparação dos resultados com a solução onde o mesmo não vigora, percebendo também o benefício que o mesmo acarreta para o isolamento sonoro a sons de percussão. Por outro lado, pensando na realidade em que estas intervenções estão inseridas, não faz sentido remover todo o soalho para colocação dos apoios resilientes, sem inserir material absorvente, economicamente viável e duradouro, na caixa de ar, o que se consegue com a lã de rocha. Este material, com 7 cm de espessura, preenche parcialmente a caixa de ar, permitindo perceber o melhoramento no comportamento acústico do pavimento em madeira que o mesmo proporciona.



Figura 6. 14 - Aplicação do fasciado (à esquerda) e sucessivo recobrimento com estuque (à direita)



Figura 6. 15 - Colocação da lã de rocha na caixa de ar do pavimento (à esquerda) e posterior colocação dos apoios resilientes sobre as vigas de madeira (à direita)

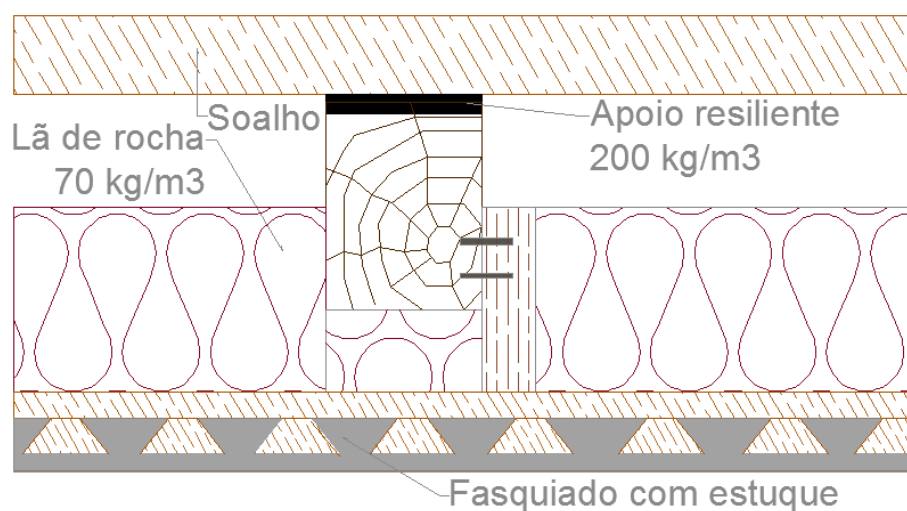


Figura 6. 16 - Corte esquemático da solução de ensaio D

A quinta solução construtiva ensaiada acusticamente, ensaio E, introduz um apoio resiliente sobre a viga de madeira diferente do utilizado no ensaio D, descrito anteriormente. Tal como no ensaio C, o apoio resiliente é agora em borracha com uma densidade de 650 kg/m^3 , colocado de modo descontínuo sobre as vigas, permitindo este ensaio verificar a vantagem, ou desvantagem, deste apoio resiliente face ao anterior com uma densidade de 200 kg/m^3 . Uma vez que a solução construtiva se mantém, é possível agora avaliar o benefício acústico introduzido com a colocação deste apoio e mantendo o revestimento inferior no pavimento em madeira.



Figura 6. 17 - Colocação dos apoios resilientes de modo descontínuo sobre as vigas (à esquerda) e posterior fecho do recobrimento em soalho (à direita)

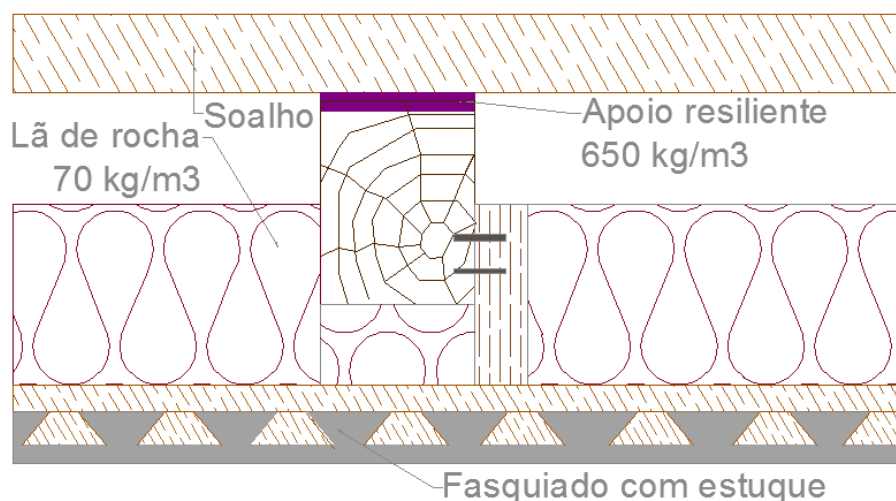


Figura 6. 18 - Corte esquemático da solução de ensaio E

O sexto pavimento ensaiado acusticamente, ensaio F, surge depois de removidos os apoios resilientes entre as vigas e o soalho. Posteriormente aos ensaios de isolamento sonoro a sons de condução aérea, bem como a sons de percussão, da solução do ensaio E de pavimento em madeira, procede-se ao levantamento de todo o soalho para remoção dos apoios resilientes que o separam das vigas, bem como de toda a lã de rocha. De seguida, o soalho é aparafusado de novo diretamente sobre as vigas, reconstituindo-se assim a solução mais corrente de pavimentos em madeira construídos entre o século XVIII e XIX, como se encontrou no edifício do caso 1, no Porto, e nos edifícios dos casos 7, 8 e 9, em Amarante. Com todos estes edifícios referidos é possível estabelecer uma comparação direta de resultados no que diz respeito ao isolamento sonoro dos pavimentos, claro está tendo em conta as limitações que os ensaios em laboratório acarretam, nomeadamente a nível das transmissões marginais.



Figura 6. 19 - Caixa de ar do pavimento sem lã de rocha (à esquerda) e revestimento superior das vigas em soalho (à direita)

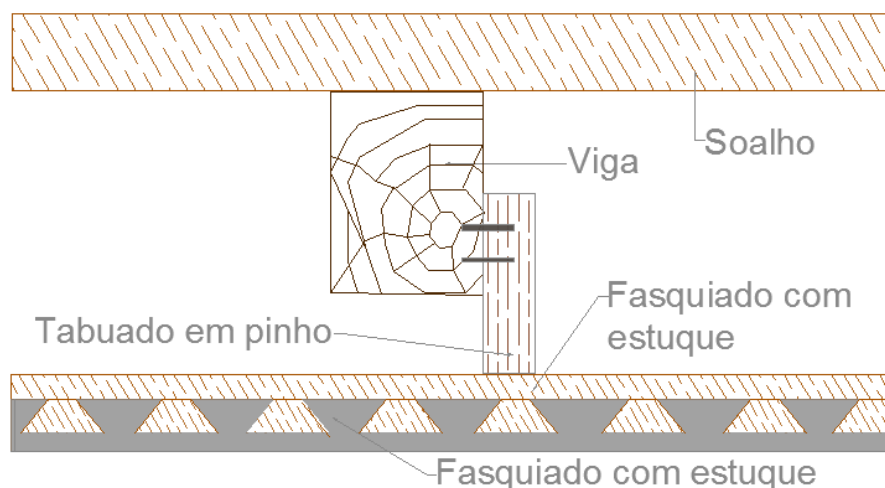


Figura 6. 20 - Corte esquemático da solução de ensaio F

Por sua vez, na sétima e última solução de pavimento em madeira ensaiada, ensaio G, a modificação que surge em relação à solução construtiva do ensaio F, prende-se com o facto de se introduzir na caixa de ar do pavimento um material de isolamento sonoro, absorvente, que não é mais do que lã de rocha já utilizada anteriormente nos ensaios D e E. Esta variante construtiva pretende entender o ganho de isolamento sonoro conseguido neste tipo de pavimento em madeira, principalmente ao nível do isolamento sonoro a sons de condução aérea, com a introdução de um material absorvente na caixa de ar, tendo em consideração que estes pavimentos apresentam em geral uma caixa de ar com dimensões consideráveis e que raramente se encontra aproveitada. Espera-se que o ganho de isolamento sonoro do pavimento com a colocação do material absorvente seja maior nas altas frequências, como é característico das fibras minerais, sendo materiais porosos e fibrosos. A comparação dos resultados aqui recolhidos tem interesse maior quando conjugada com os resultados da quarta solução construtiva, sendo que a única variante se baseia no material absorvente.



Figura 6. 21 - Colocação da lã de rocha na caixa de ar do pavimento em madeira (à esquerda) e posterior aplicação do soalho sobre as vigas de madeira (à direita)

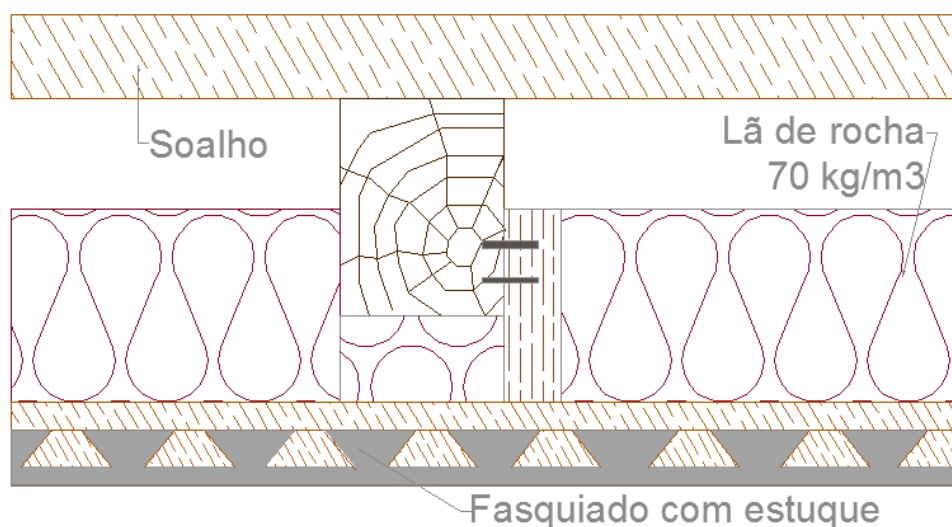


Figura 6. 22 - Corte esquemático da solução de ensaio G

Em todas as variantes dos pavimentos em madeira ensaiadas acusticamente dedicou-se especial atenção à oclusão dos caminhos marginais que pudessem permitir a transmissão por fugas através do próprio elemento, tendo-se inclusive optado pela colocação de um pequeno rodapé em todo o contorno do soalho construído. Também em todo o contorno do pavimento se colocou silicone de modo a impedir as transmissões indesejadas, bem como em juntas que foram surgindo durante os ensaios e que influenciariam os resultados de modo significativo caso não fossem ocultadas.

Todos os ensaios realizados, no domínio dos sons percussão, contaram com uma variante ensaiada recriando a situação de existência de alcatifa, tendo-se colocado para o efeito uma manta geotêxtil com 3 mm de espessura sob a máquina de percussão. A colocação do revestimento superior dos pavimentos em madeira sob a forma de alcatifa é frequente em ações de manutenção e/ou reabilitação de edifícios, pelo que se torna de maior interesse ensaiar esta solução no que diz respeito aos sons de percussão. Espera-se, no entanto, que o ganho conseguido no isolamento sonoro dos pavimentos com a colocação da alcatifa, ΔL , seja maior nos pavimentos com soalho à vista, sem nenhum revestimento inferior, uma

vez que os pavimentos que possuem revestimento inferior em fasquiado com estuque já possuem essa componente que “encobre” parcialmente o aumento de isolamento sonoro a sons de percussão proporcionado pela alcatifa.

Ao longo desta metodologia de ensaios seguida, sempre que se introduziram variantes que iam além da normal constituição dos pavimentos em madeira, houve o cuidado de se fazer essas modificações pensando em eventuais ações de reabilitação reais. Isto é, quer a introdução dos apoios resilientes, quer a introdução do material absorvente na caixa de ar, foi executada tendo em conta fatores de resistência ao fogo, por exemplo, que são necessários perante a legislação aquando de reabilitações urbanas. Independentemente dos resultados a nível acústico, a simplicidade das operações sugeridas e levadas a cabo em laboratório fica à partida assegurada, uma vez que para ambas as modificações, se torna apenas necessário o levantamento do soalho existente. Deixa-se o alerta para um cuidado especial com o peso próprio do material absorvente a colocar na caixa de ar dos pavimentos em madeira, que deve ser cuidadosamente analisado e complementado com a verificação de segurança da estrutura resistente que suporta o fasquiado com estuque, ou o ripado de madeira. Se assim for, assegura-se a continuidade do estado físico de conservação do revestimento inferior dos pavimentos em madeira.

Neste momento é possível também perceber que o único tipo de pavimentos de madeira que foi encontrado durante a realização dos ensaios *in situ* e que não foi materializado em laboratório, diz respeito a pavimentos em madeira com revestimento inferior concretizado em ripado de madeira, por norma placas finas com 1 cm de espessura. Percebe-se ainda que para a construção desta variante seria necessária a demolição de todo o fasquiado com estuque, para posterior construção em laboratório do ripado. Questões que se prendem com a economia de custos e com o planeamento temporal dos trabalhos, impossibilitaram que tal fosse executado. Para haver lugar a esta variante dos pavimentos em madeira, outras teriam que ser dispensadas, entendendo-se assim que os ensaios realizados seriam os que mais conclusões permitiram retirar.

Por último, chama-se a atenção do leitor para o facto de todas as variantes do pavimento em madeira ensaiadas acusticamente em laboratório terem seguido um planeamento que foi elaborado em parceria com um outro trabalho, desenvolvido por outro autor, dedicando-se esse ao estudo das características acústicas de painéis de aglomerados de cimento e madeira. Aproveitando a construção do pavimento em madeira, o autor achou por bem ver ensaiadas acusticamente soluções que introduzem esses mesmos painéis, pelo que se aconselha a consulta do anexo C para um melhor conhecimento do planeamento seguido durante os ensaios acústicos em laboratório. Aconselha-se esta consulta uma vez que os ensaios acústicos acabaram por ser realizados seguindo uma ordem diferente da apresentada acima, em benefício da eficácia e eficiência dos trabalhos de construção das variantes de pavimentos em madeira ensaiadas. No entanto, alerta-se para o facto de que nenhum dos ensaios presente no planeamento, englobando painéis de aglomerado madeira-cimento, faz parte do presente trabalho, mas antes de um trabalho com autor distinto.

6.5. METODOLOGIA E LEGISLAÇÃO

6.5.1. GENERALIDADES

Tal como aquando da realização de ensaios acústicos nos pavimentos de madeira *in situ*, também para a realização dos ensaios acústicos em laboratório, nas câmaras reverberantes, foram seguidas as normas disponíveis para o efeito. Só deste modo seria possível retirar conclusões comparativas entre os diferentes dados recolhidos, assegurando desde logo a conformidade das rotinas de ensaio levadas a cabo. Por outro lado, o facto de se terem seguido as normas em vigor para ensaios de isolamento sonoro

de elementos de compartimentação em laboratório, garante para o leitor e para os profissionais da área, toda a identidade técnica dos ensaios realizados.

Para as cinco variantes de pavimentos em madeira foi seguida a mesma metodologia de ensaio, que de seguida se descreve, não apresentando grande discrepância com a metodologia de ensaios acústicos *in situ*. Por essa mesma razão transcreve-se agora excertos do que outrora fora escrito no ponto 4.3.1.1 e no ponto 4.3.1.2 acerca da metodologia de ensaios acústicos *in situ*, com as devidas correções que as diferenças para com a metodologia de ensaios acústicos em laboratório, implicam. Presa-se deste modo a comodidade do leitor que consegue através de um encadeamento idêntico, mais facilmente detetar as diferenças entre os dois processos.

6.5.2. SONS AÉREOS

Para a realização de ensaios acústicos tendo em vista a obtenção da redução sonora a sons de condução aérea dos pavimentos em madeira, foi utilizada a norma ISO 10140-2 de agosto de 2010 (*Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements — Part 2: Measurement of airborne sound insulation*). Esta por sua vez, conjuntamente com as normas ISO 10140-1, ISO 10140-3, ISO 10140-4 e ISO 10140-5, substitui as ISO 140-1:1997, ISO 140-3:1995; ISO 140-6:1998, ISO 140-8:1997, ISO 140-10:1991, ISO 140-11:2005 e a ISO 140-16:2006.

A norma referida é válida para câmaras reverberantes adjacentes, superior e inferior, e ainda na gama de frequências entre 50 Hz e os 5000 Hz.

De modo resumido, o procedimento trata de criar um campo sonoro com recurso a um ruído branco (ver capítulo 2, ponto 2.2.3.4.), de 100 dB na fonte (este valor deve ser confirmado com o sonómetro antes do início de qualquer ensaio), na câmara emissora, E2, registando na câmara recetora, R1, o nível de pressão sonora. Uma vez que foi utilizada apenas uma fonte sonora (altifalante), esta foi colocada em duas posições na câmara reverberante emissora, com o objetivo de criar um campo sonoro difuso e envolvente de todo o volume da divisão. O número de operadores nas câmaras emissora e recetora deve ser o mínimo possível, sendo a situação ideal a inexistência de qualquer operador durante o registo dos dados.

A variação da fonte sonora entre a câmara E2 e câmara R1, modificando assim a direccionalidade do ensaio acústico de isolamento sonoro a sons de condução aérea, apenas seria possível no caso dos dois revestimentos do pavimento em madeira, superior e inferior, possibilitarem igual absorção sonora, o que na realidade não se traduz, dado serem materiais de construção distintos.

Para cada uma das duas posições da fonte sonora na câmara reverberante emissora, regista-se na câmara recetora, em cinco pontos aleatórios, de preferência não alinhados e respeitando as distâncias da envolvente que a norma ISO 140-4 indica, a pressão sonora recebida. De modo idêntico na câmara emissora registam-se cinco medições do nível de pressão sonora para cada posição do altifalante. Cada registo do nível de pressão sonora engloba um tempo de medição de 15 segundos. Este tempo de medição é mais importante numas frequências do que noutras, no entanto o tempo de 15 segundos satisfaz os requisitos para toda a gama de frequências estudada (100 Hz e 3150 Hz).

Perante o ruído de fundo existente na câmara recetora, seja este mais ou menos intenso, existe uma correção posterior, ao nível do cálculo, que leva ao registo de cinco medições do nível de pressão sonora sem qualquer fonte a atuar. Esta correção é feita no domínio da frequência e só se aplica para situações em que o nível de pressão sonora registado aquando da emissão por parte do altifalante, não seja suficientemente acima do nível de pressão sonora registado perante o ruído de fundo (na câmara recetora).

De modo a completar o ensaio, é ainda necessária a medição do tempo de reverberação da câmara recetora (recomenda-se a leitura do ponto 2.2.3.3. do capítulo 2) que permite por sua vez o cálculo da absorção sonora equivalente. Neste sentido como fonte sonora utiliza-se o rebentamento de balões de ar, permitindo o registo do decaimento necessário acima do ruído de fundo. A norma indica que o número mínimo de medições é de seis, tendo-se utilizado para tal uma única posição fixa do microfone (sonómetro) e três posições fixas da fonte sonora (rebentamento do balão), registando-se duas medições em cada posição da fonte sonora.

A transmissão sonora pode depender da temperatura, da humidade relativa e da pressão estática das câmaras reverberantes onde se realizam os ensaios, pelo que estas são variáveis a controlar durante a realização dos ensaios acústicos de modo a perceber a sua tendência constante, não permitindo picos.

Com a recolha das medições acima descritas, após tratamento de dados, cálculos e com o apoio da Norma Portuguesa NP EN ISO 717-1 de março de 2013, consegue-se obter a redução sonora a sons de condução aérea do pavimento em causa.

6.5.3. SONS DE PERCUSSÃO

De modo a apoiar a realização dos ensaios acústicos, levados a cabo com o intuito de determinar em laboratório o isolamento sonoro a sons de percussão dos pavimentos em madeira, recorreu-se à norma ISO 10140-3 de agosto de 2010 (*Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements — Part 3: Measurement of impact sound insulation*).

Simplificadamente o método utilizado/normalizado consiste em colocar na câmara emissora, E2, a máquina de percussão, que estando calibrada provoca um ruído padronizado e conhecido, registando na câmara recetora o nível de pressão sonora. Uma vez que apenas se dispõe de uma máquina de percussão, de modo a aumentar a credibilidade dos dados obtidos, bem como a uniformização do ensaio, a mesma é colocada em duas posições distintas do pavimento e preferencialmente suficientemente afastadas. No que diz respeito a estas duas posições da máquina de percussão no pavimento em madeira, em ambas o alinhamento dos martelos da máquina deve perfazer um ângulo de 45° com a orientação das vigas em madeira, segundo a norma.

Todo o restante procedimento é semelhante ao preconizado nos ensaios para a determinação da redução sonora dos pavimentos a sons de condução aérea, pelo que se aconselha a leitura do ponto anterior 6.5.2. A única diferença significativa está presente nos cinco registos do nível de pressão sonora na câmara emissora para cada uma das posições da fonte sonora, que para os sons de percussão, não se realizam. Registam-se assim apenas cinco medições do nível de pressão sonora, para cada posição da máquina de percussão, na câmara recetora, R1. No que diz respeito à correção devido ao ruído de fundo esta também existe, bem como o tempo de reverberação, pelo que são medições necessárias e iguais às realizadas para sons aéreos.

Importa salientar que quando se realizam ambos os ensaios acústicos, sons aéreos e de percussão, no mesmo pavimento, as medições do nível de pressão sonora para o ruído de fundo, bem como o tempo de reverberação, apenas se efetuam uma vez. São registos necessários e auxiliares ao nível do cálculo posterior, por frequência, do isolamento sonoro do pavimento em causa, mas que como se compreende dispensam a sua medição repetida de modo exagerado num curto espaço de tempo.

Também para os sons de percussão, há necessidade de recurso à Norma Portuguesa NP EN ISO 717-2 de março de 2013, para a determinação do isolamento sonoro a sons de percussão. Com os dados obtidos através das medições laboratoriais em conjugação com as orientações da norma agora referida, consegue-se obter o índice caracterizador do isolamento sonoro dos pavimentos analisados.

6.6. RESULTADOS

O procedimento teórico que conduz à obtenção em laboratório do índice de redução sonora a ruídos de condução aérea, R , proporcionada pelos pavimentos em madeira, bem como do seu índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão, $L_{n,w}$ é semelhante em parte ao procedimento que permite *in situ* a determinação do índice de isolamento sonoro padronizado a sons de condução aérea, $D_{nT,w}$ e índice de isolamento sonoro padronizado a sons de percussão, $L'_{nT,w}$, respetivamente. A maior diferença entre estes dois pares de índices consiste no facto de em laboratório não se contabilizarem as transmissões marginais, aliada ao facto de obviamente as condições de ensaio serem distintas de *in situ*, o que permite um rigor muito mais elaborado.

Sempre que possível, de modo a tornar prática a leitura do presente capítulo, quando determinado passo que permita a obtenção de variáveis necessárias ao cálculo, for em tudo semelhante ao registado nos pontos 5.2.1 e 5.2.2 do capítulo 5, será feita uma alusão para essa consulta por parte do leitor, dispensando assim a apresentação massiva e repetitiva de meios de cálculo.

À semelhança do procedimento de cálculo para os ensaios *in situ*, na obtenção do índice de redução sonora a sons de condução aérea, assim como na obtenção do índice de isolamento sonoro a sons de percussão em laboratório, analisaram-se bandas de frequência na gama dos 100 Hz aos 3150 Hz. Bandas de frequência abaixo dos 100 Hz ou acima dos 3150 Hz exigem um cuidado no tratamento dos dados que ultrapassa o trabalho possível de realizar na presente tese de mestrado. Por outro lado, são bandas de frequência que não foram analisadas nos ensaios *in situ* e como tal perdem o interesse de comparação.

6.6.1. ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA A SONS DE CONDUÇÃO AÉREA

6.6.1.1. Nível Médio de Pressão Sonora

Para a determinação do índice de redução sonora a sons de condução aérea, torna-se indispensável o registo do nível médio de pressão sonora quer na câmara reverberante emissora, quer na câmara reverberante recetora. Em ambos os locais este registo é efetuado em cinco posições distintas, tal como descrito em 5.2.1.1. Também o cálculo se concretiza de igual modo ao indicado neste último ponto.

6.6.1.2. Correção Devido ao Ruído de Fundo

Como outrora fora referido em 5.2.1.2, existe por certo, mesmo sendo o local de ensaio as câmaras reverberantes, algum ruído de fundo que é detetado pelo sonómetro. Assim sendo, também para os ensaios acústicos laboratoriais se torna necessário o recurso às correções devido ao ruído de fundo, desta vez como indica a norma ISO 10140-4:2010.

Respeitando a norma indicada, surge uma ligeira alteração no que diz respeito ao nível do ruído de fundo admitido na câmara recetora, quando comparado com o permitido anteriormente no compartimento recetor aquando dos ensaios acústicos *in situ*. O nível do ruído de fundo, L_b , deve ser em todas as bandas de frequência pelo menos 6 dB, e de preferência 15 dB, inferior ao nível do sinal combinado com o ruído de fundo, L_{sb} . No entanto se a diferença entre os dois níveis for inferior a 15 dB, mas superior a 6 dB, introduz-se a chamada correção para o ruído de fundo, que atua sobre o nível de pressão sonora média-energética determinado para a câmara reverberante recetora. Quando tal acontece, o nível de pressão sonora associado à câmara recetora, L , passa a ser o determinado pela equação 5.2.

Os procedimentos que se seguem mantêm-se inalterados e podem então ser consultados em 5.2.1.2.

6.6.1.3. Tempo de Reverberação

O tempo de reverberação da câmara recetora é calculado com base nas seis medições efetuadas com o sonómetro, seguindo todo o procedimento de cálculo descrito em 5.2.1.3, não existindo qualquer alteração a registar ao que neste ponto é mencionado.

6.6.1.4. Área de Absorção Sonora Equivalente

Após a determinação do tempo de reverberação por banda de frequência, e aplicando a fórmula de Sabin mencionada na equação 6.2, como indica a norma ISO 10140-4:2010, é possível a determinação da área de absorção sonora equivalente existente na câmara reverberante recetora, expressa em m², por banda de frequência.

$$A = \frac{0.16 \times V}{T} \quad (6.2)$$

Onde:

- V – volume da câmara recetora, R1, correspondente a 211 m³;
- T – tempo de reverberação para determinada frequência [s].

Só dando este passo, se consegue calcular de seguida a redução sonora a sons aéreos por banda de frequência, proporcionada pelo pavimento em madeira em análise.

6.6.1.5. Redução Sonora a Sons Aéreos

Considerando o nível de pressão sonora média-energética da câmara reverberante emissora e da câmara reverberante recetora, e atendendo às eventuais correções devido ao ruído de fundo que este último pode sofrer, é possível calcular a redução sonora do pavimento em causa. Considerando L₁, como sendo o nível de pressão sonora média-energética da câmara emissora e L₂ o nível de pressão sonora média-energética da câmara recetora, e ainda tomando em consideração a área de absorção sonora equivalente da câmara recetora, A, a redução sonora do pavimento, R, em dB, é dada pela equação 6.3, para cada uma das bandas de frequência.

$$R = L_1 - L_2 - 10 \times \log\left(\frac{A}{S}\right) \quad (6.3)$$

Onde:

- S – superfície do elemento de separação (pavimento em madeira em ensaio) [m²].

6.6.1.6. Redução Sonora Média

Existindo duas posições da fonte sonora na câmara reverberante emissora, existem naturalmente dois valores de R para cada banda de frequência, um para cada posição da fonte. Assim sendo é necessário recorrer à expressão 6.4 para obter apenas um único valor de R para cada banda de frequência.

$$R = -10 \times \log \left(\frac{1}{2} \times \sum_{j=1}^2 10^{\frac{-R_j}{10}} \right) \quad (6.4)$$

Onde R_j representa a redução sonora para determinada frequência, para a fonte sonora na posição j .

6.6.1.7. Índice de Redução Sonora a Sons de Condução Aérea

Obtida a redução sonora, R , para cada banda de frequência, o último processo que permite obter o índice de redução sonora do pavimento a sons de condução aérea passa pelo ajuste dos valores de redução sonora à curva de referência (CR), segundo a norma NP EN ISO 717-1. Os valores de R para cada banda de frequência traduzem a curva real que se pretende ajustar.

Os valores da curva de referência utilizada, bem como o procedimento de ajuste são em tudo iguais ao descrito no ponto 5.2.1.7., sendo que onde no ponto referido aparece D_{nT} , leia-se agora R , e onde se lê $D_{nT,w}$ no ponto do capítulo 5, leia-se agora R_w .

6.6.2. ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO A SONS DE PERCUSSÃO

6.6.2.1. Nível Médio de Pressão Sonora

O procedimento para a obtenção do nível de pressão sonora média-energética para sons de percussão é em tudo semelhante ao que leva à obtenção do nível de pressão sonora média-energética para sons de condução aérea e descrito em 6.6.1.1. Como tal recomenda-se a leitura deste ponto por parte do leitor.

Como perante os sons de percussão é conhecido o ruído padronizado que a máquina de percussão produz, apenas se registam as cinco medições do nível de pressão sonora na câmara reverberante recetora, com o auxílio do sonómetro. No entanto também agora se coloca a máquina de percussão em duas posições distintas, à semelhança da disposição da fonte sonora. Para cada uma das posições da máquina obtém-se um nível de pressão sonora média-energética por banda de frequência através da equação 5.1.

6.6.2.2. Correção Devido ao Ruído de Fundo

Relativamente à correção introduzida no nível médio de pressão sonora média-energética da câmara reverberante recetora motivada pelo ruído de fundo, o procedimento para os sons de percussão é exatamente o mesmo que se estabelece para os sons de condução aérea, pelo que se aconselha vivamente a leitura do ponto 6.6.1.2.

6.6.2.3. Tempo de Reverberação

O tempo de reverberação da câmara reverberante recetora corresponde ao determinado para o cálculo do índice de redução sonora do pavimento a sons de condução aérea. Como tal, este apenas se calcula uma vez, sendo que para o isolamento sonoro do pavimento a sons de percussão se resgata os valores obtidos anteriormente para sons de condução aérea. Relembre-se o leitor que a câmara reverberante recetora é a mesma e que a diferença temporal que separa o ensaio a sons aéreos, do ensaio a sons de percussão, é de apenas alguns minutos. Deve assim o leitor reler o ponto 6.6.1.3.

6.6.2.4. Área de Absorção Sonora Equivalente

Após a determinação do tempo de reverberação por banda de frequência, e aplicando a fórmula de Sabin mencionada na equação 6.2, como indica a norma ISO 10140-4:2010, é possível a determinação da área de absorção sonora equivalente existente na câmara reverberante recetora, expressa em m^2 , por banda de frequência. Este procedimento é exatamente o seguido aquando da obtenção do índice de redução sonora a sons de condução aérea do pavimento e descrito em 6.6.1.4. O próprio tempo de reverberação é o mesmo anteriormente registado, tal como se descreve em 6.6.2.3., sendo os valores de área de absorção sonora equivalente por banda de frequência os mesmos que usados anteriormente para o isolamento a sons de condução aérea.

6.6.2.5. Isolamento Sonoro a Sons de Percussão

Como perante o ensaio acústico de isolamento sonoro a sons de percussão apenas se registam níveis de pressão sonora na câmara reverberante recetora, o isolamento sonoro a sons de percussão, L , é dado diretamente pelo nível médio de pressão sonora média-energética calculado anteriormente, como explica o ponto 6.6.2.1.

Claro é que, quando existe necessidade de correção desse nível de pressão sonora média-energética devido ao ruído de fundo, a mesma ocorre primeiramente, associando-se só depois desse processo o valor obtido a isolamento sonoro, L . Uma vez determinado em laboratório este isolamento sonoro a sons de percussão diz-se normalizado, L_n , interferindo a área de absorção sonora da câmara reverberante recetora no seu cálculo, como demonstra a equação 6.5.

$$L_n = L_i - 10 \times \log\left(\frac{A_0}{A}\right) \quad (6.5)$$

Onde:

- L_i – nível de pressão sonora média na câmara reverberante recetora [dB];
- A – área de absorção sonora equivalente na câmara reverberante recetora [m^2];
- A_0 – absorção sonora de referência [= 10 m^2].

6.6.2.6. Isolamento Sonoro Padronizado Médio

Uma vez que existem duas posições da máquina de percussão, na câmara reverberante recetora, existirão para cada banda de frequências dois níveis médios de pressão sonora média-energética. Embora esses valores sejam convertidos em isolamento sonoro normalizado por banda de frequência, torna-se necessário chegar a um único valor desse mesmo isolamento por banda de frequência, com o intuito de determinar o índice de isolamento sonoro a sons de percussão do pavimento. Com esse objetivo aplica-se a equação 6.6.

$$L_n = -10 \times \log\left(\frac{1}{2} \times \sum_{j=1}^2 10^{\frac{-L_{n,j}}{10}}\right) \quad (6.6)$$

Onde $L_{n,j}$ representa o isolamento sonoro normalizado por banda de frequência, para a máquina de percussão na posição j .

6.6.2.7. Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Percussão

Obtido o isolamento sonoro normalizado, L_n , para cada banda de frequência, o último processo que permite obter o índice de isolamento sonoro do pavimento a sons de percussão passa pelo ajuste dos valores de isolamento sonoro normalizado à curva de referência (CR), segundo a norma NP EN ISO 717-2. Os valores de isolamento sonoro normalizado para cada banda de frequência traduzem a curva real que se pretende ajustar.

Os valores da curva de referência utilizada, bem como o procedimento de ajuste são em tudo iguais ao descrito no ponto 5.2.2.7., sendo que onde no ponto referido aparece L'_{nT} , leia-se agora L_n , e onde se lê $L'_{nT,w}$ no ponto do capítulo 5, leia-se agora $L_{n,w}$.

6.6.3. SÍNTESE DE RESULTADOS

Depois de aplicado o procedimento descrito anteriormente é possível reunir os elementos que agora se apresentam. Todos os cálculos intermédios desenvolvidos são importantes para a obtenção do resultado final, pois todos são influenciadores do mesmo. No entanto, resumem-se agora os mais expressivos e aqueles que não dispensam a sua análise, sendo que estes são discriminados por banda de frequência, entre os 100 Hz e os 3150 Hz.

Quadro 6. 2 - Tempo de reverberação e ruído de fundo, por banda de frequência, na câmara reverberante recetora, R1

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Sem revestimento inferior do pavimento (teto)																
T_R	4,06	3,33	3,52	2,58	2,26	2,15	1,93	1,83	1,80	1,75	1,64	1,57	1,47	1,37	1,34	1,29
L_b	19,6	17,8	17,3	21,9	22,9	19,0	16,0	15,0	15,1	15,1	16,0	16,5	14,7	13,3	9,6	8,8
Com revestimento inferior do pavimento (teto)																
T_R	5,00	4,06	3,58	3,23	2,63	2,50	2,22	1,93	1,81	1,71	1,55	1,45	1,33	1,30	1,23	1,18
L_b	15,6	13,3	10,5	9,1	9,2	10,9	6,7	4,6	4,8	6,4	10,8	10,0	7,9	7,6	6,3	7,8

O tempo de reverberação foi controlado na câmara recetora duas vezes, sendo a primeira antes da construção do revestimento inferior do pavimento em fasquiado com estuque e a segunda à posteriori. Tal com indicado em 6.2.3.1., foi considerada a indicação normativa de controlo do tempo de reverberação, sendo que este deve estar compreendido na câmara recetora, R1, entre 1 segundo e 5.2 segundos, o que se verifica quando se analisa o quadro 6.3.



Figura 6. 23 - Controlo do tempo de reverberação na câmara R1 através da colocação de painéis absorventes

Relativamente ao ruído de fundo, embora este não influencie os resultados, uma vez que se encontra significativamente abaixo dos valores de pressão sonora registados aquando da atuação de alguma fonte sonora, este foi controlado para cada ensaio, não sendo, no entanto, muito diferente dos valores que se apresentam no quadro 6.3. Para apresentação procedeu-se à escolha aleatória de duas medições do ruído de fundo, sendo que uma antes e outra depois da construção do teto em fasquiado com estuque.

Quadro 6. 3 - Redução sonora e isolamento sonoro a sons de percussão com e sem alcatifa, por banda de frequência, dos pavimentos ensaiados em laboratório

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Ensaio A																
R*	14,0	12,1	12,7	12,2	12,8	16,8	18,1	19,9	21,1	22,5	23,7	24,8	24,8	24,7	24,7	22,9
L _n s/alcatifa	72,7	76,0	78,9	82,6	86,7	86,4	87,5	89,4	90,7	90,3	91,4	90,4	88,3	87,0	83,8	80,7
L _n c/alcatifa	73,3	75,3	78,4	81,4	84,2	84,0	83,2	82,7	81,5	77,4	75,0	71,3	66,4	61,1	56,3	53,1
Ensaio B																
R*	12,8	11,3	13,0	11,7	13,3	17,1	17,2	18,6	20,7	22,2	24,4	26,2	26,7	26,7	25,6	23,2
L _n s/alcatifa	72,0	75,8	79,3	81,7	84,4	86,0	87,8	90,2	89,8	89,2	89,4	88,4	88,2	85,3	82,5	79,2
L _n c/alcatifa	71,7	75,5	79,9	81,3	83,3	83,1	82,8	81,7	79,5	74,4	69,8	63,4	58,4	54,5	49,7	47,5
Ensaio C																
R*	12,7	12,5	12,5	12,0	13,3	16,8	17,2	19,3	20,6	22,4	23,0	23,8	24,8	24,5	24,7	21,8
L _n s/alcatifa	75,1	77,5	79,3	82,1	85,0	87,5	89,4	90,4	91,6	90,5	89,8	88,9	88,9	86,8	83,3	79,9
L _n c/alcatifa	75,3	77,3	77,8	80,3	81,8	82,7	82,4	82,9	81,3	78,6	75,4	69,9	63,3	56,3	50,9	49,5
Ensaio D																
R	28,2	30,2	33,0	38,6	42,2	46,9	49,4	52,2	53,3	56,4	59,1	60,4	59,3	57,3	59,4	61,2

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
L_n s/alcatifa	71,5	70,1	72,3	67,2	64,1	66,0	65,1	60,1	58,3	54,9	52,1	50,3	47,2	44,0	37,6	31,9
L_n c/alcatifa	72,4	72,2	72,4	67,8	64,2	63,3	60,4	54,2	50,6	46,5	40,7	35,0	31,2	29,3	26,4	23,2
Ensaio E																
R^*	27,7	29,9	35,4	39,8	42,8	46,7	49,9	51,8	54,4	56,9	58,7	60,0	60,1	58,4	60,2	62,7
L_n s/alcatifa	71,9	73,6	73,5	71,8	71,4	69,6	66,7	65,9	63,3	60,4	59,6	55,6	52,7	49,0	42,0	34,6
L_n c/alcatifa	72,9	73,9	73,1	72,1	69,5	67,0	63,3	60,2	56,8	51,5	47,4	39,7	34,3	32,1	28,7	27,3
Ensaio F																
R^*	24,0	26,5	33,8	36,8	38,3	42,5	45,0	47,8	49,5	51,1	53,1	54,3	53,3	50,6	51,9	53,6
L_n s/alcatifa	73,6	75,6	75,5	74,9	75,3	72,7	70,4	69,4	67,3	64,9	62,6	59,9	60,3	60,1	54,2	46,6
L_n c/alcatifa	74,6	74,4	74,4	74,0	73,8	69,8	66,7	63,4	60,5	55,7	50,3	44,1	40,9	38,1	35,2	31,4
Ensaio F1 – Revestimento inferior em fresco ao fim de 4h																
R	27,2	30,7	32,6	35,9	38,8	42,5	44,6	47,3	48,1	50,2	52,2	53,9	54,1	50,2	50,3	52,2
Ensaio G																
R	29,1	31,1	33,8	41,5	42,6	45,8	48,6	49,5	51,4	52,9	56,3	57,8	57,9	56,7	58,6	60,1
L_n s/alcatifa	73,1	74,1	75,3	72,4	71,3	70,2	71,7	66,8	65,4	63,8	59,8	54,7	52,9	50,4	45,7	36,6
L_n c/alcatifa	72,7	72,8	74,4	70,9	68,4	65,1	64,8	59,8	58,2	52,2	47,7	42,7	39,1	36,8	31,6	26,7

Nota 2 *: os valores indicados foram obtidos como resultado da fonte sonora sobre o pavimento. Consultar ponto 7.7 para maior detalhe.

Reunidos todos os resultados por banda de frequência que acima são discriminados, é possível a obtenção do índice de redução sonora a sons de condução aérea dos pavimentos ensaiados laboratorialmente nas câmaras reverberantes, bem como do seu índice de isolamento sonoro a sons de percussão normalizado. Resumem-se estes mesmos valores no quadro 6.5.

Quadro 6. 4 - Índice de redução sonora e índice de isolamento sonoro a sons de percussão dos pavimentos ensaiados em laboratório

Ensaio	R_w	$L_{n,w}$ s/ alcatifa	$L_{n,w}$ c/ alcatifa	Boletim de ensaio [Anexo B]
A	22*	93	77	A7, A8 e A9
B	23*	91	76	A1, A2 e A3
C	22*	92	77	A4, A5 e A6
D	52	62	62	A16, A17 e A18
E	53*	65	64	A19, A20 e A21
F	49*	69	67	A10, A11 e A12
F1	49	-	-	A22

Ensaio	R _w	L _{n,w} s/ alcatifa	L _{n,w} c/ alcatifa	Boletim de ensaio [Anexo B]
G	52	67	64	A13, A14 e A15

Sob a forma gráfica, consegue-se reproduzir os índices de isolamento sonoro indicados no quadro 6.5, como aliás é visível na figura 6.24, abaixo.

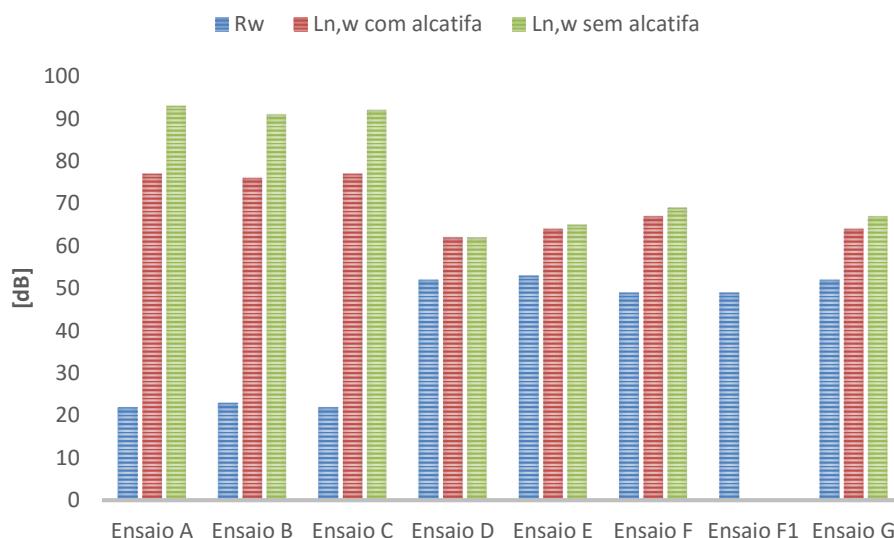


Figura 6. 24 - Índice de redução sonora a sons de condução aérea e índices de isolamento sonoro normalizados a sons de percussão, com e sem alcatifa, das variantes de pavimentos em madeira ensaiadas acusticamente em laboratório

6.6.4. MEIO DE COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS

Tal como anteriormente descrito em 5.3.7., no capítulo 5, após a aplicação dos modelos de cálculo teóricos, torna-se necessária a adaptação dos resultados provenientes dos mesmos, de modo a estabelecer comparação com os valores recolhidos *in situ*, pois estes últimos contabilizam o efeito das transmissões marginais e os modelos teóricos não o fazem. O mesmo se passa para os resultados recolhidos em laboratório nas câmaras reverberantes, necessitando estes de tratamento adicional e simplificado, de modo a poderem ser comparados com os restantes. Todo o procedimento que se executa neste sentido é igual ao anteriormente descrito em 5.3.7., pelo que, para maior conforto do leitor, se recomenda a consulta deste ponto.

Resumem-se no quadro 6.6 as variáveis necessárias para a obtenção do índice de isolamento sonoro padronizado tipo a sons de condução aérea, bem como do equipolente a sons de percussão, dos pavimentos ensaiados acusticamente em laboratório, partindo do seu índice de redução sonora a sons de condução aérea e do seu índice de isolamento sonoro normalizado a sons de percussão, respetivamente.

Chama-se a atenção do leitor para o facto destes índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea, bem como a sons de percussão, serem índices “tipo”, que englobam de modo muito simplificado uma eventual modificação de isolamento sonoro do pavimento por efeito das transmissões marginais. Em laboratório, nas câmaras reverberantes não há nenhum efeito devido às transmissões marginais, estas são nulas. Assim sendo, este facto impede que se chame índices de isolamento sonoro padronizado a

sons de condução aérea, bem como a sons de percussão, aos índices obtidos em laboratório, mesmo que adaptados, pelo que se denominam estes agora obtidos de índices de isolamento sonoro tipo. Estes últimos, englobando uma hipotética interferência devido ao efeito das transmissões marginais, conseguem ser minimamente comparáveis com os resultados obtidos *in situ*, bem como através dos modelos de cálculo teóricos e posteriores adaptações.

Quadro 6. 5 - Índice de isolamento sonoro padronizado tipo a sons de condução aérea, bem como a sons de percussão, dos pavimentos ensaiados laboratorialmente e respetivas variáveis envolvidas

Ensaio	R_w	$D_{nT,w}$	$L_{n,w}$ s/alcatifa	$L'_{nT,w}$ s/alcatifa	$L_{n,w}$ c/alcatifa	$L'_{nT,w}$ c/alcatifa	V [m ³]	S [m ²]	T_0 [s]	K_{TM} aéreos	K_{TM} per
A	22	29	93	85	77	69	211	14.56	0.5	0	0
B	23	30	91	83	76	68					
C	22	29	92	84	77	69					
D	52	59	62	54	62	54					
E	53	60	65	57	64	56					
F	49	56	69	61	67	59					
G	52	59	67	59	64	56					

7

**ESTUDO DE RESULTADOS E
CONCLUSÕES****7.1. INTRODUÇÃO**

Alcançada uma fase do trabalho em que todos os desenvolvimentos experimentais, assim como os cálculos teóricos e práticos associados, estão terminados, torna-se o momento oportuno para a retirada das conclusões que daí derivam. Assim sendo, surge o presente capítulo para apresentar essas mesmas conclusões, bem como as propostas de desenvolvimentos futuros que o autor considera adequadas.

De facto, a multiplicidade de vertentes orientadas no presente trabalho, como os ensaios acústicos *in situ* aos pavimentos em madeira (permitindo concluir acerca do seu índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, bem como a sons de percussão), os ensaios laboratoriais nas diferentes variantes do pavimento em madeira (permitindo a conclusão da redução sonora proporcionada pelas mesmas), bem como a introdução das variáveis associadas às diferentes composições dos pavimentos em modelos de cálculo teóricos, permitem agora a reflexão acerca dos resultados encontrados, bem como concluir diferentes aspetos.

Torna-se o momento certo para ir de encontro aos objetivos principais do trabalho, questionando: a adequabilidade dos pavimentos em madeira para as exigências atuais, não só legislativas mas também em relação às condições de conforto dos ocupantes; a relação existente entre o isolamento sonoro proporcionado por estes elementos de compartimentação horizontal *in situ* e em laboratório, onde se percebe que as condições da envolvente são distintas; e ainda a existência hodierna de modelos de cálculo que permitam aos projetistas que trabalham atualmente em reabilitação urbana, a modificação e estudo rigoroso destes pavimentos, sem discrepâncias e perturbações exageradas.

7.2. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS *IN SITU*

Após a reunião de todos os índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea e a sons de percussão dos pavimentos em madeira ensaiados *in situ*, é possível agora uma análise descritiva dos resultados, interpretando o porquê de determinados valores, identificando as suas causas e percebendo sobretudo qual a variante de pavimentos em madeira que melhor se comporta face ao isolamento sonoro que proporciona.

Para uma fácil interpretação por parte do leitor e uma melhor organização para o autor, foram agrupados alguns resultados, em função do grupo a que se assemelham, como se torna visível no quadro 7.1, uma vez que a variedade de ensaios realizados permite esse tratamento. Este mesmo quadro é semelhante ao encontrado em 5.2.3., sendo aqui repetido para uma maior comodidade do leitor.

Quadro 7. 1 - Índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea e a sons de percussão dos pavimentos ensaiados acusticamente *in situ*

Edifício	$D_{nT,w}$	$L'_{nT,w}$	Boletim de ensaio [anexo A]
Caso 1	50	62	01 e 02
Caso 2	29	81	07 e 08
Caso 3	19	84	09 e 10
Caso 4	30	88	03 e 04
Caso 5	28	67	05 e 06
Caso 6	42	61	11 e 12
Caso 7	49	56	13 e 14
Caso 8	47	52	15 e 16
Caso 9	32	67	17 e 18
Caso 10	45	62	19 e 20

Como se entende numa análise rápida do quadro 7.1, consegue-se identificar à partida o grupo de resultados que foi colorido com a cor azul claro. Os mesmos dizem respeito, na sua totalidade, ao edifício dos casos 2 a 5, sendo que o caso 2 e o caso 3 são pavimentos sem qualquer revestimento inferior (estrutura resistente de madeira à vista) e os casos 4 e 5 possuem o mesmo revestimento inferior (placas finas de madeira com ligação a meio-fio). Seria de esperar, ainda antes de observar os resultados, que o isolamento sonoro proporcionado pelos pavimentos dos casos 2 e 3 fosse inferior aos restantes, no entanto isto apenas é válido para o caso 3. Apresentando a mesma solução do pavimento do caso 2, o pavimento do caso 3 apresenta um índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea anormalmente baixo, de 19 dB. Analisando o boletim de ensaio correspondente, número 09, percebe-se através da análise do gráfico que inclui a curva do isolamento sonoro padronizado por banda de frequência que existe uma grande variação ao longo das gamas de frequências com oscilações bruscas de isolamento sonoro. Uma vez que aquando da realização do ensaio *in situ* não se verificaram situações anormais, nem orifícios de dimensões consideráveis ao ponto de serem detetados, consegue-se concluir que o estado de conservação da madeira do pavimento do caso 3 se encontra debilitado, ou mesmo fraco. De facto, a única justificação possível para uma curva de isolamento sonoro a sons de condução aérea como a observada, passa pela fuga de sons provenientes do compartimento emissor, o que só aconteceu no presente caso, através do próprio pavimento. Comprovando este aspeto, aquando da realização do ensaio de isolamento sonoro a sons de percussão neste pavimento, o mesmo libertou bastante pó proveniente da madeira, o que atesta a degradação interior do soalho. Por outro lado, o pavimento do caso 5, apresenta dentro deste grupo de semelhança de resultados um valor estranhamente favorável (dentro do contexto) para o índice de isolamento sonoro a sons de percussão, de 67 dB. Analisando o boletim de ensaio correspondente, numerado com 06, percebe-se o decaimento do isolamento sonoro padronizado por banda de frequência que ocorre nas altas frequências a partir dos 400 Hz. Tal aspeto comprova que não há influência por parte dos sons aéreos produzidos pela máquina de percussão no compartimento emissor, pelo que o isolamento sonoro determinado pode ser validado. Fica este resultado para índice de isolamento sonoro a sons de percussão do pavimento do caso 5 a dever-se à alcatifa de 0.5 cm de espessura que o reveste. Sendo este pavimento de constituição estrutural exatamente igual ao pavimento do caso 4, que apresenta um $L'_{nT,w}$ de 88 dB, percebe-se a gigantesca melhoria no isolamento sonoro a

sons de percussão introduzida com a alcatifa. Terminando a análise deste grupo de resultados não se consegue comprovar a melhoria do isolamento sonoro proporcionada pelo revestimento inferior do pavimento, pelo menos, não com uma maioria dos resultados. Percebe-se as oscilações presentes com base na degradação mais evidente de determinado pavimento face a outros, e ainda atendendo ao facto de o revestimento inferior, quando presente, estar materializado em placas muito finas de madeira, pregadas diretamente nas vigas da estrutura resistente do pavimento. Assim sendo, mesmo teoricamente, o ganho proporcionado por este revestimento em isolamento sonoro a sons de percussão seria reduzido, como a prática confirma. Em relação aos sons aéreos, o cenário não difere em grande escala.

Analisando agora o grupo de semelhança de resultados identificado com a cor verde seco, percebe-se que ocorre aqui uma melhoria dos índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea e a sons de percussão, quando comparados com os índices do grupo de resultados identificado com a cor azul claro. No grupo em análise no momento, indo de encontro às conclusões retiradas no grupo azul, o pavimento que detém um índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea inferior é o pertencente ao edifício do caso 6 que possui precisamente um revestimento inferior em ripado de madeira, pregado diretamente sob as vigas. Neste grupo verde seco, todos os pavimentos incluídos possuem revestimento inferior, sendo que o edifício do caso 6 e o edifício do caso 10 são os únicos que apresentam soluções diferentes do fasquiado com estuque. O pavimento do caso 10, relembra-se o leitor, apresenta um revestimento adicional em painéis absorventes, porosos. Os pavimentos em madeira com revestimento inferior em fasquiado com estuque, apresentam os três índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea muito próximos, 50 dB, 49 dB e 47 dB, como é visível no quadro 7. 1. É notória a melhoria do isolamento sonoro a sons de condução aérea deste tipo de pavimentos quando se inclui o fasquiado com estuque no lugar do revestimento em ripado de madeira. Consegue-se compreender este facto pela ligação do ripado de madeira que tradicionalmente se concretiza com ligação a meio-fio, o que se traduz num revestimento pouco favorável para o isolamento sonoro a sons aéreos. Ao nível dos sons de percussão, também os índices de isolamento se assemelham entre todos os pavimentos aqui incluídos, com destaque para o isolamento bastante favorável do pavimento do caso 8, mas lembrando a ação de melhoramento que este pavimento já sofreu, possuindo atualmente uma segunda laje sob o pavimento original em painéis de gesso cartonado, e ainda o revestimento superior do pavimento materializado em alcatifa com 2 mm de espessura. No que diz respeito aos pavimentos com revestimento inferior em fasquiado com estuque, os resultados para o isolamento a sons de percussão são muito parecidos entre eles, existindo um melhoramento notável quando a espessura do estuque aumenta, como acontece no pavimento do caso 7, onde o estuque ainda se encontra profundamente ornamentado, possuindo uma espessura maior do que a encontrada nos restantes pavimentos.

Por último, partindo da análise prévia do quadro 7.1, identifica-se o pavimento do caso 9, que se distingue dos restantes grupos, apresentando índices de isolamento sonoro mais favoráveis do que aqueles que se encontram no grupo azul, mas menos benéficos do que os encontrados no grupo verde seco. De facto, este pavimento possuindo revestimento inferior em fasquiado com estuque traduz um meio de transição. *In situ* foi possível registar as frinchas de dimensões consideráveis que as portas apresentavam, quer no compartimento emissor, quer no compartimento recetor. Por outro lado, analisando o remate do soalho com as paredes do compartimento emissor, dadas as obras de reabilitação que o edificado sofre no momento, é notória a falha que ainda existe, havendo zonas deste contorno onde é possível visualizar através do compartimento recetor, a iluminação proveniente do compartimento emissor. Nestas circunstâncias seria de esperar a influência de sons provenientes do compartimento emissor que não tenham origem apenas nas ondas sonoras que ultrapassam o soalho e o fasquiado com estuque, como os boletins de ensaio com os números 17 e 18, comprovam. A curva do isolamento sonoro padronizado por banda de frequência no boletim dos sons aéreos, número 17, através das oscilações que demonstra, comprova a interferência de sons aéreos que “escapam” pelos orifícios

mencionados. Também a curva do isolamento sonoro padronizado por banda de frequência, desta vez no diz respeito aos sons de percussão, boletim de ensaio número 18, vem comprovar esta fuga de ruído do compartimento emissor que chega ao compartimento recetor, não permitindo o decaimento nas altas frequências da curva do isolamento sonoro padronizado. Esta curva apenas decai a partir dos 1000 Hz e de modo pouco acentuado, comprovando a teoria referida. Acredita o autor que após as obras de reabilitação que esta habitação sofre de momento, o pavimento ensaiado acusticamente apresentará melhores condições do que as observadas na altura das medições.

Consegue-se concluir neste momento, depois de analisados individualmente cada um dos resultados dos ensaios acústicos de isolamento a sons aéreos e a sons de percussão dos pavimentos em madeira, que a solução construtiva típica destes pavimentos que é capaz de oferecer melhores condições acústicas é o pavimento em madeira, com revestimento superior em soalho e revestimento inferior materializado em fasquiado com estuque. Dentro da ciência desta mesma solução, aumentando a espessura do soalho, colocando revestimento deste último em alcatifa, aumento a espessura da caixa de ar e/ou do estuque que preenche o fasquiado, consegue-se uma melhoria relativamente significativa do isolamento sonoro proporcionado por estes elementos de compartimentação horizontal. Se por um lado o estuque é um material mais resiliente do que a madeira, por outro lado quando maior a sua espessura maior a sua massa, e, portanto, melhor o isolamento acústico proporcionado.

De entre todos os pavimentos ensaiados acusticamente a sons aéreos e a sons de percussão, apenas os pavimentos do caso 5, do caso 6 e do caso 8 possuíam revestimento superior em alcatifa, sendo que a do caso 5 era a que apresentava maior espessura, 0.5 cm. É possível concluir acerca do efeito benéfico, relativamente ao isolamento a sons de percussão dos pavimentos em madeira, que a alcatifa consegue introduzir. Esse efeito é mais notável no caso 5 dado o grupo em que este pavimento se insere, no entanto não há possibilidade de dúvida de que seria exequível o melhoramento do índice de isolamento sonoro a sons de percussão dos restantes pavimentos ensaiados com a introdução de alcatifas, sendo que quanto mais espessas estas forem, maior o acréscimo de isolamento sonoro conseguido.

É ainda possível concluir neste momento que perante ações de reabilitação de que estes edifícios venham a ser palco, não referindo quaisquer condições estruturais que devem ser analisadas cuidadosamente e caso a caso, torna-se perfeitamente possível, através de intervenções relativamente simples e economicamente viáveis, a concretização de um reforço acústico das soluções encontradas. Prova viva desta possibilidade é o edifício onde se ensaiou acusticamente o pavimento, caso 8. Este pavimento, é de entre todos aqueles que foram ensaiados o que apresenta melhor índice de isolamento sonoro a sons de percussão, e está entre os melhores relativamente ao índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea. A intervenção de que foi alvo não foi além de fixar mecanicamente painéis de gesso cartonado no teto do compartimento recetor, uniformizando de seguida o aspeto e constituindo deste modo a segunda laje entre os compartimentos emissor e recetor. Estes ficam a partir deste momento divididos por três camadas no pavimento (soalho, fasquiado com estuque e gesso cartonado) e por duas caixas de ar de dimensões distintas.

Chama-se neste momento a atenção do leitor para o facto de terem existido correções devido ao ruído de fundo em grande parte dos ensaios acústicos levados a cabo sobre os pavimentos em madeira. Estas correções incidiram apenas nas altas frequências e em situações perfeitamente normais. No entanto, cumprindo o predisposto na norma NP EN ISO 16283-1, alerta-se para algumas frequências onde foi aplicada a correção de 1.3 dB estando os valores no limite da medição. Porém nos seguintes ensaios não foi aplicada qualquer correção devido ao ruído de fundo: ensaio de isolamento sonoro a sons de percussão (caso 1, caso 6, caso 9, caso 4, caso 3 e caso 2) e ensaio de isolamento sonoro a sons aéreos (caso 9 e caso 2).

7.3. COMPARAÇÃO DOS DADOS RECOLHIDOS *IN SITU* COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR

Tal como mencionado inicialmente nos objetivos do presente trabalho, é agora o momento certo para avaliar a conformidade dos pavimentos em madeira ensaiados acusticamente *in situ*, no que diz respeito à legislação em vigor sobre o tema. Assim sendo, o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) passa agora a ser documento que permite a análise apresentada neste ponto. Neste regulamento constam limites numéricos para os diversos índices de comportamento acústico dos edifícios, servindo de base para as exigências na elaboração de projetos de condicionamento acústico. No RRAE não constam limitações de índole acústica a verificar entre compartimentos do mesmo fogo. Ou seja, no caso de todos os pavimentos ensaiados acusticamente a sons aéreos e a sons de percussão *in situ* no presente trabalho, o RRAE não atua sobre nenhum destes impondo qualquer limite. Isto porque todos estes pavimentos correspondem a elementos de compartimentação horizontal que separam dois compartimentos do mesmo fogo, ou se se preferir, da mesma habitação. Aqui, segundo o RRAE cabe aos ocupantes das frações estabelecer o ruído desejado. No entanto, nem sempre assim foi tendo existido um período temporal em Portugal em que a legislação definia limites para os índices de isolamento sonoro de determinado pavimento, por exemplo, mesmo que este separasse compartimentos da mesma habitação.

Deste modo a comparação que se estabelece neste ponto com a legislação vai de encontro a uma eventual reabilitação dos edificadados onde se realizaram ensaios *in situ*, pois são no geral edifícios semelhantes aqueles que nos tempos hodiernos, frequentemente, são reabilitados e transformados em unidades hoteleiras ou então com uso habitacional e misto. Se assim for, o RRAE passa a ser aplicado a estes edifícios, funcionando no caso das unidades hoteleiras, cada quarto como um fogo distinto. Com a comparação que agora se estabelece consegue-se perceber até que ponto os pavimentos em madeira, presentes em grande parte dos edifícios do século XVIII e XIX, conseguem satisfazer os requisitos legislativos e de conforto dos ocupantes. Aqui importa chamar a atenção do leitor para o facto dos limites impostos no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios serem apenas limites legislativos, sendo discutível a garantia das questões de conforto para os utilizadores quando se garantem esses mesmos índices. Este último conceito é algo relativo, dependente de pessoa para pessoa, e que engloba análises formais mais complicadas. Apesar de tudo, para todo e qualquer efeito, do ponto de vista acústico, se um pavimento em madeira respeita os índices impostos no RRAE, satisfaz os requisitos legislativos sendo considerado conforme. De novo se alerta também para o facto de no presente trabalho apenas se estudarem as propriedades acústicas dos pavimentos, entendendo o autor que um pavimento em madeira do século XIX que respeite as exigências legislativas atuais no que diz respeito à acústica, possa ser um pavimento totalmente impróprio para reabilitação dado a sua deterioração noutras áreas. O pensamento contrário também é válido e daí a realização da presente análise.

O RRAE entre os seus artigos 5º a 10ºA, descreve os diversos limites numéricos para os diferentes índices de comportamento acústico, como já fora referido acima, sendo que aqueles que interessam de momento se conseguem resumir no quadro 7.2. Aconselha-se a leitura do ponto 2.4, no capítulo 2, para maior detalhe acerca da legislação descrita.

Quadro 7. 2 - Excerto do RRAE para edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras [6]

Elementos Construtivos Interiores (Locais)	$D_{nT,w}$ (dB) \geq	$L'_{nT,w}$ (dB) \leq
Entre compartimentos (emissão) e quartos/zonas de estar, de fogos diferentes.	50	60
Entre quartos/zonas de estar (receção) e zonas comuns de circulação (emissão).	48	60
	40 (com ascensores)	-
	50 (com garagem)	-
Entre quartos/zonas de estar de fogos e locais destinados a indústria, comércio ou serviços ou diversão (emissão).	58	50

Existem dois pontos do artigo 5º do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios que acabam por alterar significativamente o quadro 7.2, são eles o ponto 6 e o ponto 8. Segundo o ponto 6, qualquer edifício, ou qualquer dos seus fogos, é considerado conforme aos requisitos acústicos aplicáveis quando cumulativamente: “O valor obtido para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT,w}$, acrescido do fator I no valor de 3 dB, satisfaça o limite regulamentar;” e ainda quando “O valor obtido para o índice de isolamento sonoro a sons de percussão, $L'_{nT,w}$, diminuído do fator I no valor de 3 dB, satisfaça o limite regulamentar”. Já segundo o ponto 8, “Aos edifícios situados em zonas históricas que sejam objeto de ações de reabilitação, mantendo uma das vocações de uso previstas no presente artigo e a mesma identidade patrimonial, podem aplicar -se os requisitos constantes das alíneas b) a g) do n.º 1, com uma tolerância de 3 dB.” Ambos os pontos se aplicam aos edifícios utilizados nos ensaios acústicos *in situ* a pavimentos de madeira. [23]

Considerando os dois pontos do artigo 5º do RRAE descritos acima, o quadro 7.2 dá lugar ao quadro 7.3. Neste ponto, convém lembrar o leitor de que enquanto em projeto, nunca se deve recorrer dos pontos 6 e 8 do artigo 5º do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios. Isto é, nunca se deve projetar acusticamente qualquer elemento de construção com base nos limites do RRAE resumidos no quadro 7.3. Estes valores existem para averiguar o rigor das soluções à posteriori, depois de executadas, conforme o RRAE indica que as mesmas devam corresponder. Não comprometendo o direito ao descanso e conforto dos utilizadores dos compartimentos, o projetista de acústica do posterior edificado, deve ter consciência da sua atividade profissional e das consequências que a mesma acarreta para os cidadãos, sejam estes proprietários e/ou utilizadores, moradores, entre outros.

Quadro 7. 3 - Índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea e a sons de percussão impostos pelo RRAE depois de considerado o seu artigo 5º na totalidade

Elementos Construtivos Interiores (Locais)	$D_{nT,w}$ (dB) \geq	$L'_{nT,w}$ (dB) \leq
Entre compartimentos (emissão) e quartos/zonas de estar, de fogos diferentes.	44	66
Entre quartos/zonas de estar (receção) e zonas comuns de circulação (emissão).	42	66
	34 (com ascensores)	-
	44 (com garagem)	-

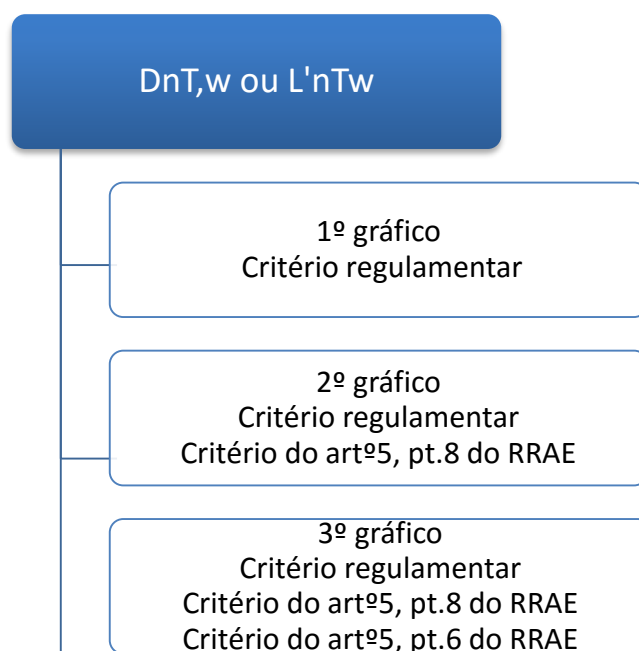
Elementos Construtivos Interiores (Locais)	$D_{nT,w}$ (dB) \geq	$L'_{nT,w}$ (dB) \leq
Entre quartos/zonas de estar de fogos e locais destinados a indústria, comércio ou serviços ou diversão (emissão).	52	56

Tendo presente estes valores, é possível através dos gráficos que seguem abaixo perceber quais os pavimentos que respeitam a legislação atual. Foram analisados os índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea, bem como a sons de percussão, para uma situação em que o pavimento em madeira separa o compartimento emissor de quartos/zonas de estar de fogos diferentes e para uma situação em que o pavimento em madeira separa quartos/zonas de estar (receção) de zonas comuns de circulação (emissão), considerando para este último caso a disposição mais exigente do RRAE e considerando assim que a zona comum de circulação (emissão) é uma garagem.

Quadro 7. 4 - Valores do critério regulamentar, critério do artº5 do ponto 6 do RRAE e critério do artº5 do ponto 8 do RRAE

Índices	Critério Regulamentar	Critério do artº5 pt.6 do RRAE	Critério do artº5 pt.8 do RRAE
$D_{nT,w}$	50	47	44
$L'_{nT,w}$	60	63	66

A análise comparativa desenvolvida graficamente e que se apresenta em baixo foi desenvolvida cumulativamente, com três gráficos para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea e três gráficos para o índice de isolamento sonoro a sons de percussão, como o seguinte esquema indica:



Esquema 7. 1 - Esquema representativo da metodologia gráfica explanativa seguida

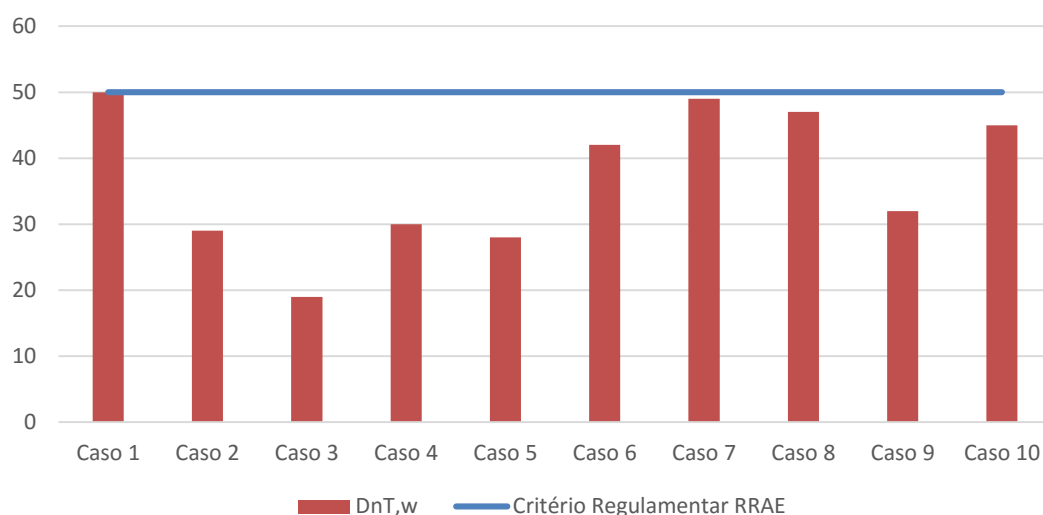


Figura 7. 1 - Valores de DnT,w e critério regulamentar do RRAE aplicável

Aconselha-se neste momento a releitura do quadro 5.16 do ponto 5.2.3 do capítulo 5, para uma maior comodidade do leitor.

Por observação da figura 7.1 percebe-se que aplicando unicamente o critério regulamentar do RRAE, dos pavimentos ensaiados acusticamente, apenas o correspondente ao caso 1 está conforme. Quando cumulativamente se aplica o critério do artigo 5º, ponto 8 do RRAE, figura 7.2, passam a ser três os pavimentos que cumprem a legislação, nomeadamente o do caso 1 que já cumpria anteriormente, ao qual se juntam os pavimentos do caso 7 e do caso 8.

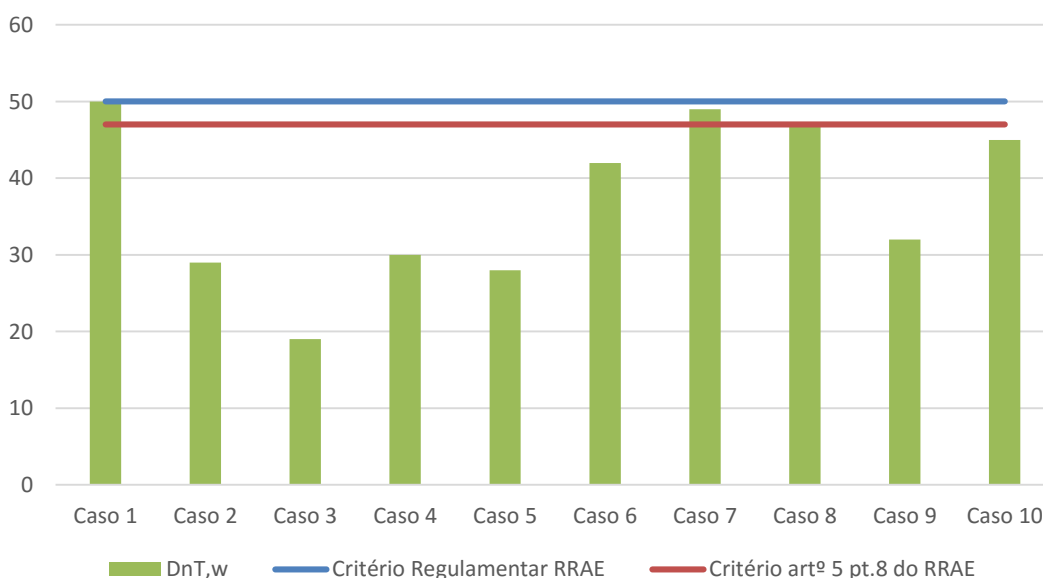


Figura 7. 2 - Valores de DnT,w, critério regulamentar do RRAE e critério do artigo 5º, ponto 8, do RRAE

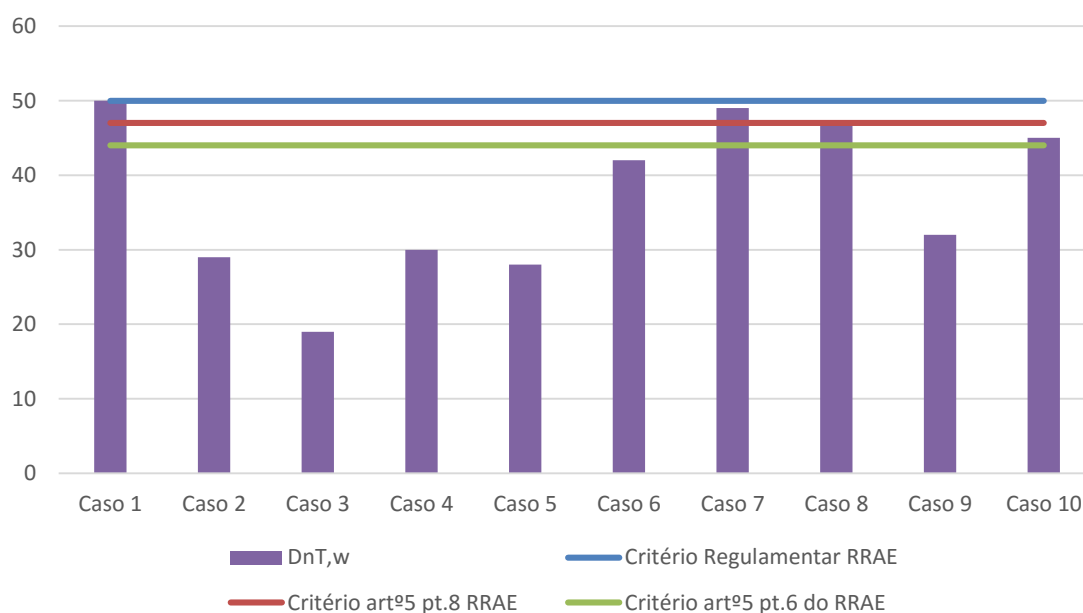


Figura 7. 3 - Valores de DnT,w, critério regulamentar do RRAE, critério do artigo 5º, ponto 8, do RRAE e critério do artigo 5º, ponto 6, do RRAE

Posteriormente, e ainda cumulativamente, quando se tem em conta o critério do artigo 5º, ponto 6, do RRAE, figura 7.3, existe ainda um outro pavimento ensaiado acusticamente que passa a cumprir a legislação, é este o pavimento em madeira do caso 10. Só neste momento se está a retirar partido das incertezas associadas às medições para englobar algum pavimento na conformidade exigida pelo Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios. No final desta análise, existem então quatro pavimentos de entre os ensaiados *in situ* que cumprem as exigências da legislação atual no que ao índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea diz respeito, existindo por outro lado seis pavimentos, que mesmo retirando partido cumulativo dos pontos 6 e 8 do artigo 5º do RRAE não conseguem cumprir este regulamento.

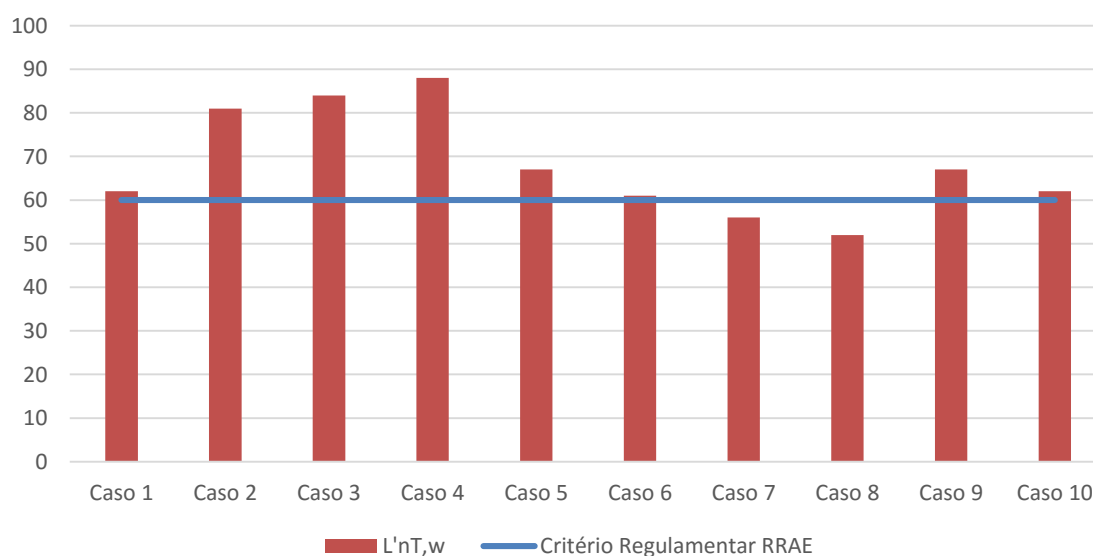


Figura 7. 4 - Valores de L'nT,w e critério regulamentar do RRAE

Quando se compara o valor do índice de isolamento sonoro a sons de percussão dos pavimentos ensaiados *in situ* unicamente com o critério regulamentar conferido pelo RRAE, apenas estão conformes os pavimentos em madeira dos casos 7 e 8, conforme gráfico visível na figura 7.4. Neste momento a análise inverte-se comparativamente aos sons de condução aérea, sendo que para os sons de percussão, o valor do índice é limitativo como teto máximo, devendo os valores obtidos através dos ensaios *in situ* situarem-se abaixo destes.

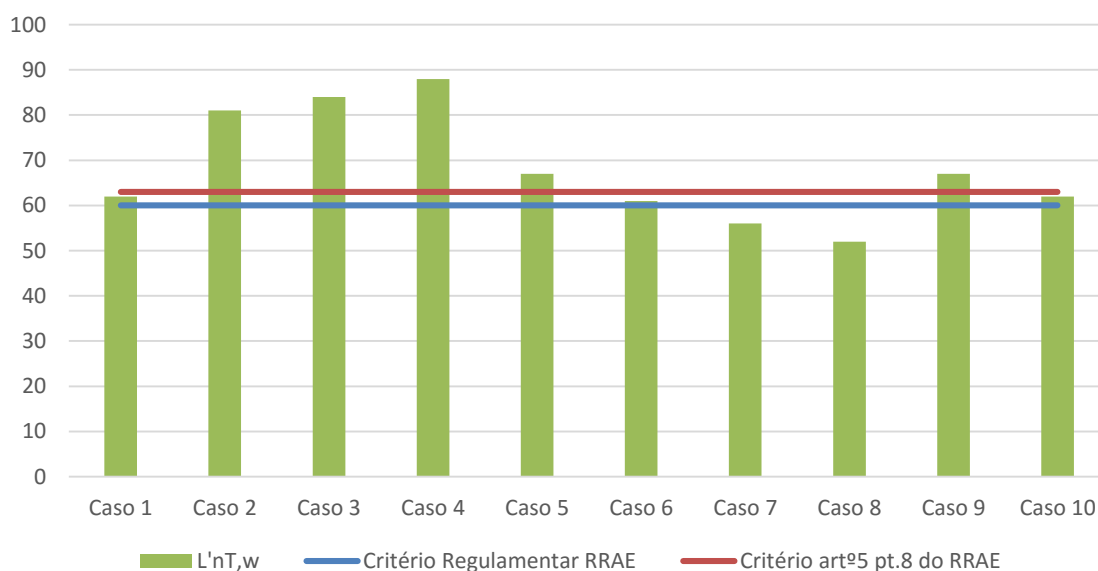


Figura 7. 5 - Valores de L'nTw, critério regulamentar do RRAE e critério do artigo 5º, ponto 8, do RRAE

De seguida, considerando cumulativamente o critério do artigo 5º, ponto 8, do RRAE, como se concretiza no gráfico da figura 7.5, existem três pavimentos que se juntam aos dois anteriores, cumprindo agora o regulamento referido. São estes os pavimentos em madeira dos casos 1, no Porto, e casos 6, 7, 8 e 10, em Amarante.

Por último, acumulando ao critério anterior o critério do artigo 5º, ponto 6, do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, segundo o gráfico presente na figura 7.6, ou por outras palavras, retirando agora partido das incertezas associadas às medições do modo que o regulamento permite e indica, não existe nenhum pavimento em madeira a adicionar aos anteriores como conforme segundo o RRAE.

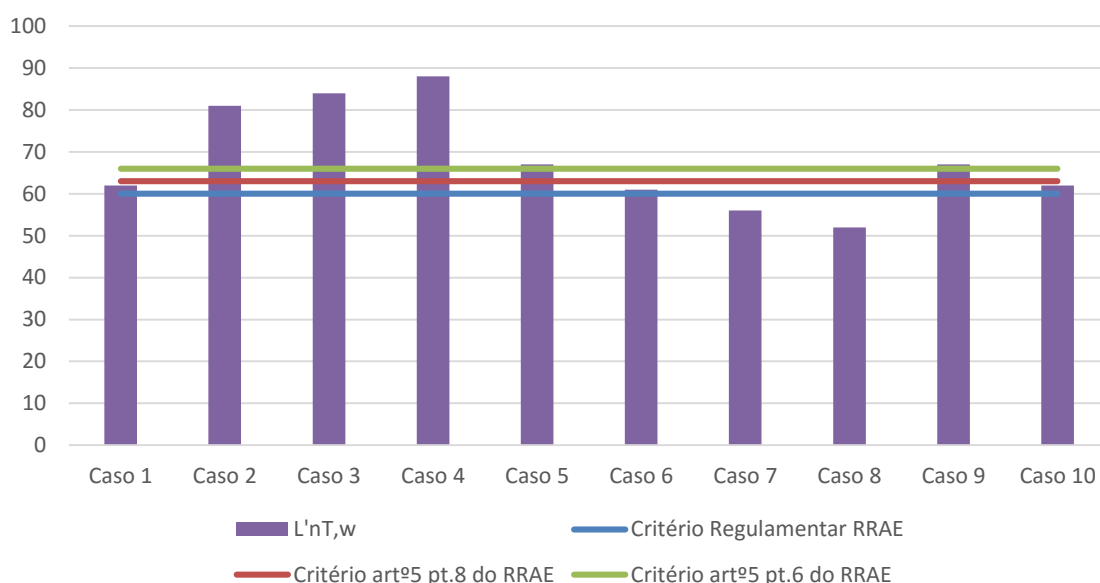


Figura 7. 6 - Valores de L'nT,w, critério regulamentar do RRAE, critério do artigo 5º, ponto 8, do RRAE e critério do artigo 5º, ponto 6, do RRAE

No final desta análise consegue-se concluir que são mais os pavimentos em madeira que respeitam o índice de isolamento sonoro a sons de percussão (cinco), do que aqueles que respeitam o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea (quatro), quando comparados com os limites impostos pelo Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, ver quadro 7.5.

Quadro 7. 5 - Resumo do cumprimento ou incumprimento do RRAE por parte dos pavimentos dos edifícios ensaiados

Pavimento em madeira	$D_{nT,w}$	RRAE*1 (Sons Aéreos)	$L'_{nT,w}$	RRAE*1 (Sons de Percussão)
Caso 1	50	✓	62	✓
Caso 2	29	X	81	X
Caso 3	19	X	84	X
Caso 4	30	X	88	X
Caso 5	28	X	67	X
Caso 6	42	X	61	✓
Caso 7	49	✓	56	✓
Caso 8	47	✓	52	✓
Caso 9	32	X	67	X
Caso 10	45	✓	62	✓

Nota* 1 - Quando se aplica RRAE faz-se referência ao critério acumulativo regulamentar, artº5, ponto 8 e artº5, ponto 6.

Existe a possibilidade de perceber ainda que a discrepância entre os valores considerados no RRAE e os reais, é maior no caso do isolamento sonoro a sons aéreos dos pavimentos (apenas um pavimento próximo do limite imposto pelo RRAE com $D_{nT,w}$ de 42 dB), do que no isolamento sonoro a sons de percussão. Estes últimos encontram-se mais próximos dos valores exigidos atualmente na legislação (caso concreto de dois pavimentos em madeira com $L'_{nT,w}$ de 67 dB), sendo por consequente mais fácil aproximar os pavimentos em madeira que não cumprem os requisitos no que diz respeito ao índice de isolamento sonoro a sons de percussão, das exigências hodiernas.

Os ensaios acústicos nas câmaras reverberantes permitirão confirmar o pensamento atual, no entanto é de notar o maior esforço que se deve empregar para adequar estes pavimentos em madeira à legislação atual, no que diz respeito ao isolamento sonoro a sons de condução aérea, perante ações de reabilitação. Pequenas ações interventivas como as testadas experimentalmente, nomeadamente a colocação de material absorvente na caixa de ar deste tipo de pavimentos em madeira, poderá melhorar significativamente o comportamento acústico deste tipo de solução construtiva de elementos de compartimentação horizontal.

7.4. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS LABORATORIAIS E RECOMENDAÇÕES CONSTRUTIVAS

Concluídos os ensaios laboratoriais, recolhidos os índices necessários, bem como as curvas de isolamento sonoro que os proporcionam, torna-se o momento adequado para refletir sobre esses mesmos valores interpretando os resultados alcançados. Para maior comodidade do leitor repete-se agora o quadro 6.5, presente na altura do capítulo 6, de modo a resumir os índices de redução sonora a sons de condução aérea e os equipolentes para os sons de percussão, podendo o mesmo ser encontrado agora como quadro 7.6.

A primeira intervenção efetuada no quadro referido, prende-se com a divisão dos resultados em dois grupos: ensaios acústicos em pavimentos de madeira sem revestimento inferior (soalho à vista inferiormente na câmara recetora), identificados com a cor azul, e ensaios acústicos em pavimentos de madeira com revestimento inferior (materializado em fasquiado com estuque), identificados com a cor bege.

Quadro 7. 6 - Índice de redução sonora e índice de isolamento sonoro a sons de percussão dos pavimentos ensaiados em laboratório

Ensaio	R_w	$L_{n,w}$ s/ alcatifa	$L_{n,w}$ c/ alcatifa	Boletim de ensaio [Anexo B]
A	22*	93	77	A7, A8 e A9
B	23*	91	76	A1, A2 e A3
C	22*	92	77	A4, A5 e A6
D	52	62	62	A16, A17 e A18
E	53*	65	64	A19, A20 e A21
F	49*	69	67	A10, A11 e A12
F1	49	-	-	A22
G	52	67	64	A13, A14 e A15

Nota 2 *: os valores indicados foram obtidos como resultado da fonte sonora sobre o pavimento. Consultar ponto 7.7 para maior detalhe.

Analisando primeiramente o grupo com cor azul, ou seja, os resultados provenientes dos ensaios onde o pavimento não apresenta qualquer revestimento inferior, denota-se nestes uma monotonia quer no índice de redução sonora a sons de condução aérea, quer nos índices de isolamento sonoro normalizados a sons de percussão, com e sem alcatifa. Correspondendo o ensaio A ao pavimento tradicional em madeira unicamente constituído pelas vigas em madeira e revestimento superior em soalho, era certo que se esperavam índices pouco favoráveis aquando da realização destes ensaios em laboratório. As medidas consideradas para melhoramento do comportamento acústico deste pavimento, nomeadamente os ensaios B e C, vêm introduzir melhorias, no entanto pouco significativas. De entre estas melhorias, a única minimamente significativa está presente no ensaio B, aquando do revestimento superior das vigas de madeira com material resiliente com densidade de 200kg/m^3 , e de 0.5 cm de espessura, de modo contínuo. Ainda assim, manifesta-se como uma medida pouco recomendável, pelo menos quando apresentada isoladamente, uma vez que apenas se traduz numa melhoria de 2 dB no índice de isolamento sonoro a sons de percussão. No índice de redução sonora a sons de condução aérea a melhoria conseguida foi ainda menor, de apenas 1 dB. Por outro lado, analisando a variante de pavimentos em madeira sem qualquer revestimento inferior ensaiada, na qual se optou por colocar sobre as vigas apoios resilientes com 650kg/m^3 de densidade, de modo descontínuo com um afastamento médio entre os mesmos de 28 cm, as melhorias ao nível do comportamento acústico podem aqui ser consideradas desprezáveis. Ao nível dos sons aéreos não se registou qualquer diferença, tendo-se registado apenas 1 dB de melhoria no índice de isolamento sonoro normalizado a sons de percussão, quando analisada esta solução. A melhoria mais significativa que se consegue aqui registar, analisando no geral o grupo agora abordado (azul – quadro 7.6), assenta essencialmente ao nível dos sons de percussão, aquando da colocação da alcatifa de 3 mm de espessura como revestimento superior adicional, além do soalho em madeira de pinho. Este revestimento alcança nesta variante de pavimentos em madeira um ΔL de 16 dB, o que se torna numa melhoria excessivamente significativa para isolamento sonoro a sons de percussão.

Relativamente às curvas de isolamento sonoro por banda de frequência relativas aos ensaios acústicos A, B e C, estas traduzem o comportamento que era previsto para a madeira de pinho que aqui se faz representar nas vigas e soalho, consultável no anexo B, boletins A1 a A7. A frequência crítica surge nas três curvas de isolamento sonoro a sons de condução aérea um pouco camuflada, mas de presença notável, ao nível dos 200 Hz contrariando um pouco a frequência crítica prevista para o soalho em pinho com 3 cm de espessura que se situa entre os 650 Hz e os 700 Hz, em geral. No entanto, dado o afastamento reduzido entre as vigas de madeira, apenas 50 cm, o soalho não consegue transmitir a energia sonora que recebe sob o seu modo próprio de vibração, acontecendo essa transferência por domínio de vibração das vigas de madeira, com 11 cm de espessura. Este facto comprova-se pela presença da frequência crítica das vigas em madeira que se situa na proximidade dos 200 Hz, sendo de 186 Hz. Aumentando o isolamento sonoro a sons de condução aérea na medida em que aumenta a banda de frequência, as três curvas dos ensaios denunciam a perda de isolamento sonoro deste tipo de pavimentos em madeira na banda de frequência dos 2500 Hz.

Analisando agora o grupo dos ensaios laboratoriais nos quais está presente o revestimento inferior do pavimento em madeira, concretizado em fasquiado com estuque, presente no quadro 7.6, com a cor bege, são maiores as observações a registar. O ensaio F é o que representa a solução tradicional de pavimento em madeira em que está presente apenas o soalho superiormente e o revestimento inferior em fasquiado com estuque. Denotam-se desde logo as melhorias ao nível do isolamento sonoro preconizadas pela construção do teto quando comparados os resultados deste ensaio com os resultados do ensaio A, onde vigora apenas o soalho em conjunto com as vigas de madeira. Percebemos assim que a colocação do teto como revestimento inferior do pavimento acarreta um ganho de 27 dB ao nível do índice de redução sonora a sons de condução aérea e um benefício de 24 dB ao nível do índice de isolamento sonoro normalizado a sons de percussão. Percebe-se assim o melhor comportamento deste

tipo de pavimentos em madeira face aos pavimentos em madeira sem qualquer revestimento inferior, quer a sons de condução aérea, quer a sons de percussão, numa diferença significativa e expressiva.

Tendo em conta o ensaio de teste a sons de condução aérea que foi realizado após 4 horas do fim da construção do revestimento inferior do pavimento, ensaio F1, consegue-se concluir que não existe qualquer diferença ao nível do índice de redução sonora proporcionado pelo pavimento em fase de secagem, aquando da presença de humidade nas argamassas empregues, quando comparado com a fase em que o estuque já se encontra seco, passadas 60 horas ou mais do período que marca o fim da construção.

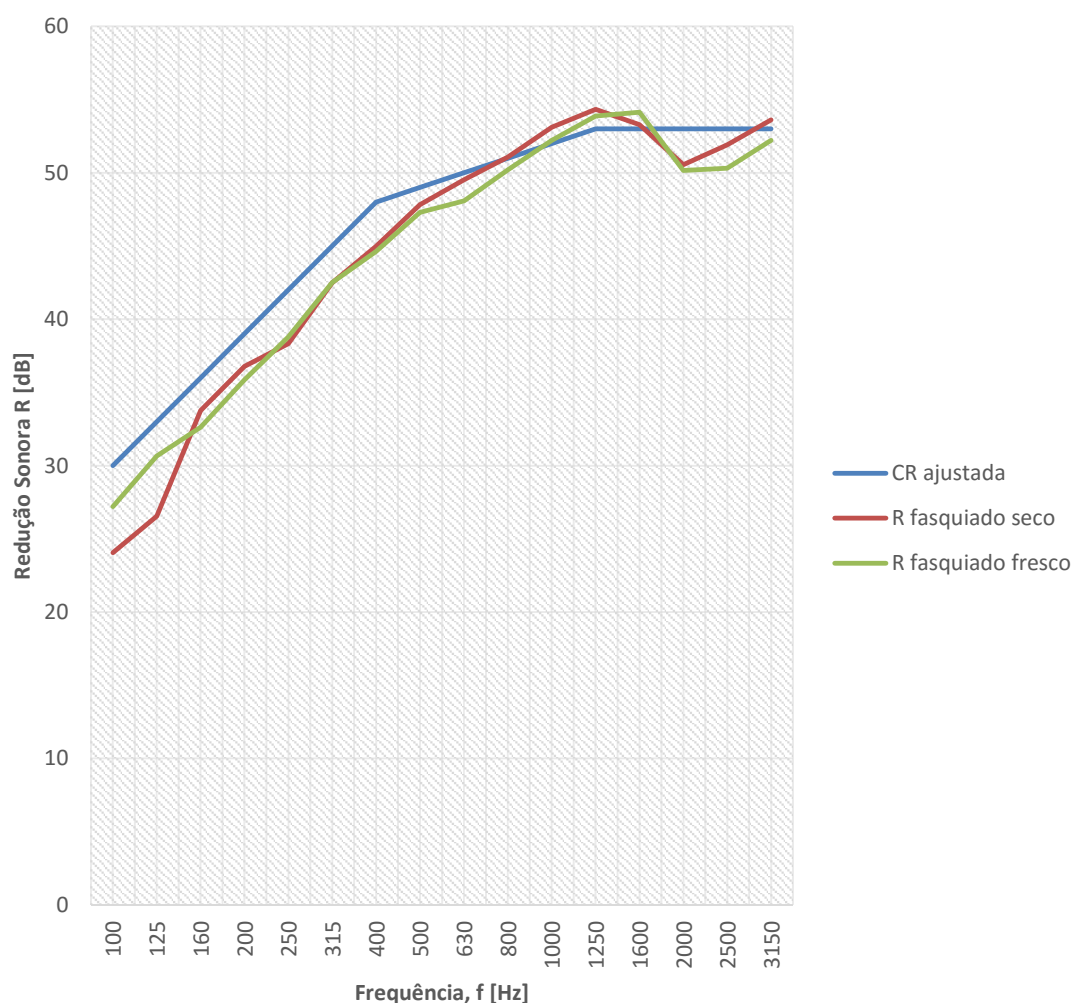


Figura 7. 7 - Isolamento sonoro a sons de condução aérea proporcionado pelo pavimento com revestimento em fasquiado com estuque em fase de secagem e em fase seca

Analisando as curvas dos dois ensaios, F e F1, correspondentes ao fasquiado com recobrimento em estuque, em fase seca e em fase de secagem, respetivamente, as mesmas assemelham-se, não havendo discrepâncias significativas a registar. Como se observa pela curva a vermelho o fasquiado com estuque seco perde um pouco de isolamento sonoro nas baixas frequências quando comparado com o fasquiado com estuque em processo de secagem, mas em contrapartida ganha o equivalente em isolamento sonoro a altas frequências entre os 1800 Hz e os 3150 Hz.

Um outro aspeto que se prende ainda com o revestimento inferior do pavimento em fasquiado com estuque remete para o desaparecimento da perda de isolamento sonoro a sons de condução aérea na banda de frequência dos 200 Hz. Com a construção do teto na câmara recetora, as curvas de isolamento sonoro a sons de condução aérea dos ensaios posteriores já não representam essa mesma perda de isolamento sonoro, comprovando este facto o descrito anteriormente e que remetia para a existência dessa perda de isolamento sonoro devido à frequência crítica das vigas em madeira de pinho. Com o revestimento inferior, a frequência crítica do sistema altera-se, naturalmente, desaparecendo essa mesma perda nos 200 Hz. Contudo, como seria esperado, a perda de isolamento sonoro ocorre agora, também, numa outra banda de frequência de entre as analisadas, mais propriamente nos 2000 Hz. Esta ocorrência verifica-se em todos os ensaios acústicos desenvolvidos após a construção do revestimento inferior do pavimento em fasquiado com estuque.

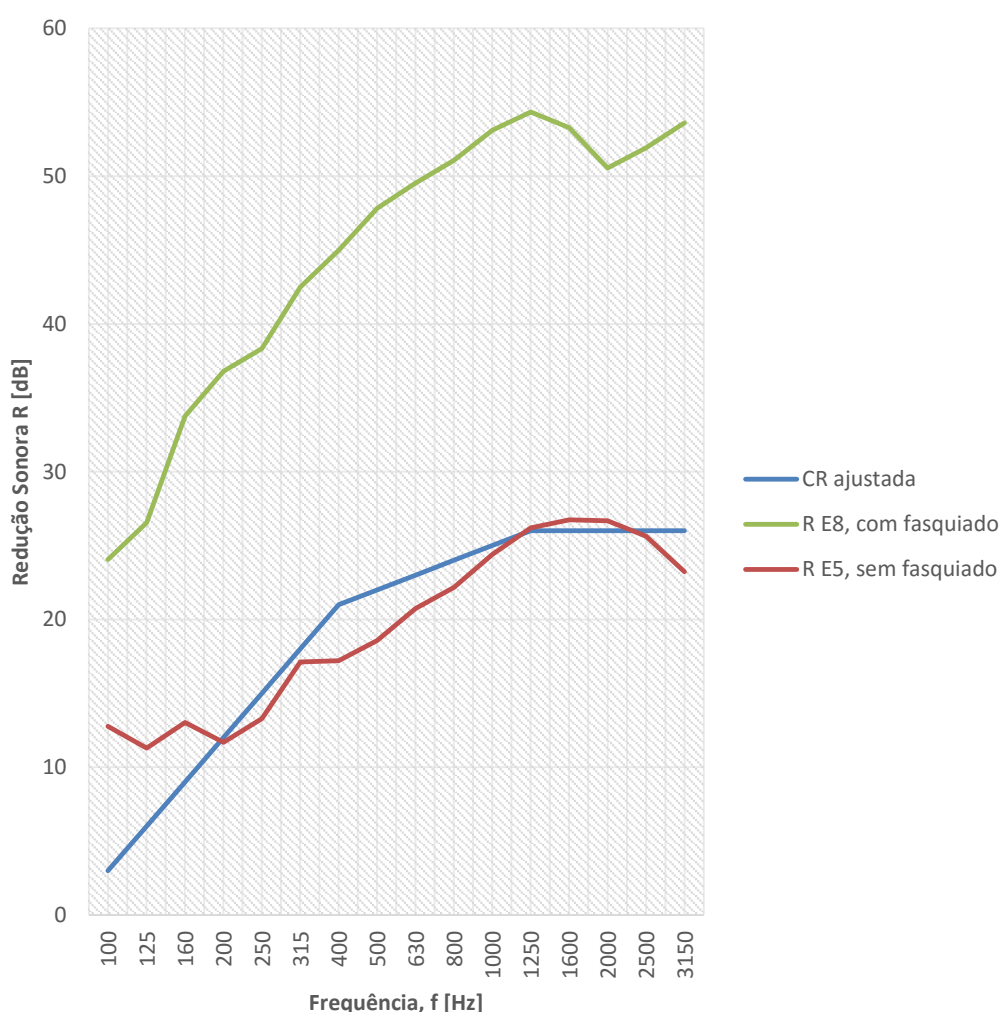


Figura 7. 8 - Curvas de isolamento sonoro a sons de condução aérea de um ensaio, E5, sem revestimento inferior em fasquiado com estuque, e de um ensaio, E8, com revestimento inferior em fasquiado com estuque. Perdas de isolamento sonoro significativas nos 200 Hz e nos 2000 Hz, respetivamente

Regista-se ainda que neste grupo de ensaios acústicos laboratoriais, em que o revestimento inferior vigora, o efeito positivo que a alcatifa estabelece no índice de isolamento sonoro normalizado a sons de

percussão, não é tão expressivo quanto o ΔL que a mesma introduzia aquando dos ensaios com pavimento em madeira constituído apenas por soalho e vigas. Neste agrupamento de ensaios, na melhor das situações, assistimos a um ΔL atribuído à alcatifa de 3 dB, que fica muito aquém dos 16 dB anteriores. Tal facto deve-se à presença do fasquiado com estuque como modo de revestimento inferior, que já conferindo uma melhoria muito significativa no isolamento sonoro deste tipo de pavimentos em madeira, não permite à alcatifa a expressão gigantesca de melhoria nos resultados do índice de isolamento sonoro normalizado a sons de percussão. Assim sendo, é possível concluir que perante ações de manutenção ou reabilitação de edifícios onde se encontram pavimentos em madeira constituídos unicamente por soalho e vigas, o revestimento superficial em alcatifa consegue introduzir uma melhoria muito significativa ao nível do isolamento sonoro dos mesmos. Por outro lado, se os pavimentos encontrados forem constituídos por soalho, vigas, mas também por revestimento inferior, nomeadamente em fasquiado com estuque, as melhorias verificadas ao nível do isolamento sonoro com a introdução da alcatifa como revestimento superficial superior, não terão uma expressividade tão significativa, no caso da alcatifa em estudo.

O ensaio G apresenta na sua caixa de ar um preenchimento parcial com 7 cm de lã de rocha com uma densidade de 70 kg/m^3 , sendo esta a única diferença para com o ensaio F. No entanto, a lã de rocha uma vez colocada no pavimento, mantém-se para os ensaios D e E, observando-se que em todos estes ensaios acústicos, existe uma melhoria ao nível do isolamento sonoro a sons de condução aérea, que o seu índice de redução sonora comprova. Neste índice consegue-se um ganho de 3 dB com a colocação do material absorvente na caixa de ar. Relativamente ao isolamento sonoro a sons de percussão, o ganho conseguido foi menor, de apenas 2 dB, mas relembra-se o leitor para o facto desta variante ter sido testado laboratorialmente, essencialmente, de modo a verificar a influência que possui sob o isolamento sonoro a sons de condução aérea, uma vez que a lã de rocha é um material poroso e fibroso.

Relativamente aos ensaios D e E, estes foram levados a cabo em laboratório com o intuito de melhorar o comportamento acústico a sons de percussão dos pavimentos em análise, tal como anteriormente aconteceu com os ensaios B e C, na altura ainda sem revestimento inferior em fasquiado com estuque, sendo os materiais utilizados nestes pares de ensaios exatamente os mesmos. Assim sendo, foi possível entender que ao nível dos sons de condução aérea, os apoios resilientes, sejam eles de densidade de 200 kg/m^3 ou 650 kg/m^3 , existindo revestimento inferior do pavimento em madeira, não conseguem introduzir nenhuma melhoria notável. Por outro lado, ao nível do isolamento sonoro a sons de percussão, ambos os apoios introduzem melhorias, sendo que o apoio resiliente de 200 kg/m^3 , ensaio D, aplicado de modo contínuo em todo o comprimento das vigas de madeira é aquele que introduz maior ganho nesta área, privilegiando o índice de isolamento sonoro normalizado a sons de percussão com uma melhoria de 7 dB. Por outro lado, surge o ensaio E, onde se aplica sobre as vigas de madeira apoios resilientes com 650 kg/m^3 de densidade e 0.5 cm de espessura, afastados entre si de sensivelmente 28 cm, e onde o ganho ao nível do índice de isolamento sonoro normalizado a sons de percussão é de apenas 4 dB. O facto destes apoios terem sido colocados sobre as vigas de modo descontínuo é a maior justificação para uma redução não maior do que 4 dB no índice de isolamento sonoro normalizado a sons de percussão. Sendo colocados com espaçamento médio de 28 cm entre si, os apoios resilientes permitem que a máquina de percussão atue, por ventura, diretamente sobre pequenos espaços que não possuem qualquer apoio, transmitindo o soalho parte da energia sonora que recebe diretamente para as vigas de madeira. Enquanto que com a aplicação do apoio de 200 kg/m^3 de densidade, de modo contínuo, essa situação fica salvaguardada como inexistente, se aplicados com descontinuidades os apoios resilientes tornam-se menos eficazes.

Neste momento, de modo resumido, consegue-se entender, após a realização dos ensaios laboratoriais e interpretação dos respetivos resultados, que perante uma ação de manutenção ou reabilitação de edifícios

onde sejam encontrados pavimentos tradicionais em madeira, sob o ponto de vista acústico é possível a melhoria do seu comportamento quando aplicadas pequenas modificações. Percebe-se que os apoios resilientes com uma determinada densidade (200 kg/m^3 , por exemplo) aplicados de modo contínuo sobre as vigas de madeira, conseguem introduzir melhorias no comportamento deste tipo de pavimentos, no que diz respeito ao isolamento sonoro a sons de percussão. No entanto, uma vez levantado todo o soalho para aplicação desses mesmos apoios resilientes, torna-se óbvia e eficaz a colocação de lâ de rocha na caixa de ar quando os pavimentos em causa possuem revestimento inferior, como se indica na figura 7.9. A aplicação deste material absorvente garante melhorias ao nível do isolamento sonoro a sons de condução aérea e é de relativamente fácil aplicação. Por outro lado, entende-se também que a aplicação de apoios resilientes de modo descontínuo não garante resultados tão favoráveis quanto a aplicação desses mesmos apoios de modo contínuo sobre as vigas de madeira.

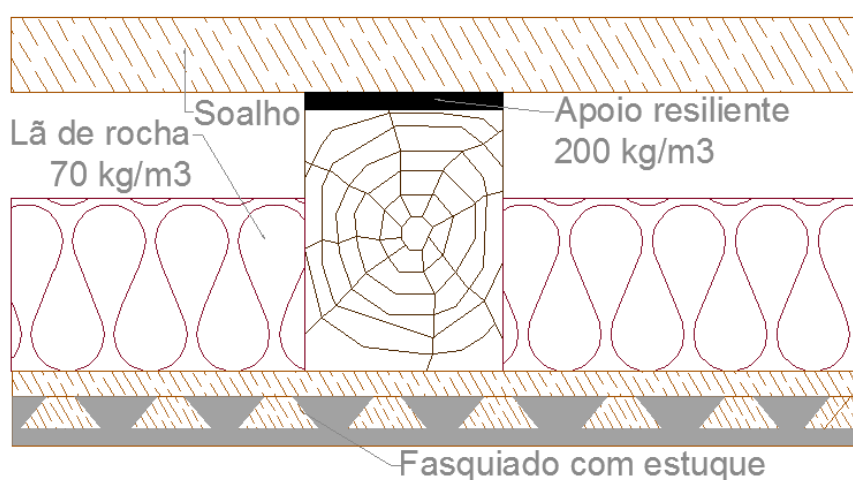


Figura 7. 9 - Solução construtiva recomendada

Não obstante, quando os pavimentos em madeira não possuem qualquer revestimento inferior, os índices de comportamento acústico quer a sons de condução aérea, quer a sons de percussão, tornam-se mais dificilmente adaptáveis às exigências atuais, principalmente no que diz respeito aos sons de condução aérea. Relativamente aos sons de percussão, tal como indicado acima, a colocação de um revestimento superficial em alcatifa torna-se uma mais valia nesta variante de pavimentos, sendo especialmente eficaz.

Outras recomendações para melhoria do comportamento acústico de pavimentos em madeira, passam pelo aumento da massa destes pavimentos, recorrendo assim a um dos princípios base da acústica de elementos de construção. Este aumento da massa e reforço do pavimento, pode ser obtido através de painéis de aglomerado madeira-cimento, tais como os ensaiados acusticamente em paralelo com o presente trabalho. Para um melhor entendimento acerca do posicionamento destes painéis nas soluções construtivas tradicionais, deve ser consultado o anexo C, representativo do planeamento dos ensaios laboratoriais onde vigoram todas as soluções de melhoramento do comportamento acústico de pavimentos em madeira testadas. Outras eventuais medidas que não foram ensaiadas laboratorialmente, nomeadamente a criação de um revestimento superior em modo de camada flutuante, e/ou a construção de um revestimento inferior adicional como por exemplo um teto suspenso em gesso cartonado, ambas associadas a uma intervenção positiva junto das transmissões marginais, minimizando as mesmas (recurso a apoios resilientes em tubagens e apoios rígidos, por exemplo), podem contribuir de modo significativo para a melhoria do comportamento acústico de pavimentos em madeira.

7.5. COMPARAÇÃO DOS DADOS RECOLHIDOS EM LABORATÓRIO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR

Seguindo os passos descritos em 7.3, aquando da *Comparação dos dados recolhidos in situ com a legislação em vigor*, é possível agora analisar de modo semelhante as variantes de pavimentos em madeira ensaiadas acusticamente em laboratório, à luz da legislação que vigora. Para tal torna-se necessário recorrer aos índices de redução sonora a sons de condução aérea e aos índices de isolamento sonoro normalizados a sons de percussão recolhidos em laboratório, transformando os mesmos em índices de isolamento sonoro tipo, padronizados, a sons de condução aérea, bem como a sons de percussão, respetivamente. Feito esse trabalho em 6.6.4, no capítulo 6, resumem-se agora no quadro 7.7 os índices de isolamento sonoro tipo para cada ensaio realizado em laboratório, já contabilizando simplificadaamente o efeito das transmissões marginais, de modo a poderem ser comparados com o exigido na legislação. Para o índice de isolamento sonoro tipo, padronizado, a sons de percussão foi escolhido o respeitante aos ensaios onde a alcatifa de 3 mm de espessura está presente, dado ser o mais favorável e ao mesmo tempo possível de alcançar com a colocação da mesma.

Quadro 7. 7 - Índice de isolamento sonoro tipo, padronizado, a sons de condução aérea e o equipolente para sons de percussão das variantes de pavimentos em madeira ensaiadas laboratorialmente

Ensaio	$D_{nT,w}$ tipo	$L'_{nT,w}$ c/alcatifa tipo
A	29	69
B	30	68
C	29	69
D	59	54
E	60	56
F	56	59
G	59	56

Recorrendo novamente ao RRAE, Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, e considerando de modo simplificado, não tornando a análise morosa e massiva para o leitor, os critérios do artigo 5º, ponto 6 e ponto 8, cumulativamente, consegue-se alcançar o quadro 7.8, onde se avalia o cumprimento ou incumprimento dos pavimentos ensaiados em laboratório face aos requisitos atualmente impostos pelo RRAE.

Quadro 7. 8 - Resumo do cumprimento ou incumprimento previsível do RRAE por parte dos pavimentos ensaiados em laboratório

Pavimento em madeira	$D_{nT,w}$ tipo	RRAE* ¹ (Sons Aéreos)	$L'_{nT,w}$ tipo	RRAE* ¹ (Sons de Percussão)
A	29	X	69	X
B	30	X	68	X
C	29	X	69	X
D	59	✓	54	✓
E	60	✓	56	✓
F	56	✓	59	✓
G	59	✓	56	✓

Nota* 1 - Quando se aplica RRAE faz-se referência ao critério acumulativo regulamentar, artº5, ponto 8 e artº5, ponto 6.

Neste momento é possível concluir que os pavimentos em madeira ensaiados acusticamente que não possuem nenhum revestimento inferior, apesar das pequenas modificações tendo em vista a melhoria do seu comportamento acústico, não conseguem respeitar os requisitos do RRAE. Trata-se de pavimentos simplistas nos quais só se consegue um resultado estritamente positivo após a inclusão de um revestimento inferior, em fasquiado com estuque, recriando a solução tradicional, por exemplo.

Por outro lado, todos os pavimentos ensaiados nas câmaras reverberantes da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto que possuem revestimento inferior em fasquiado com estuque, quer com melhorias sob o ponto de vista do comportamento acústico, quer sem qualquer modificação, cumprem as especificações do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios. Percebe-se, no entanto, que quando as modificações estão presentes, como é o caso dos apoios resilientes com densidade de 200 kg/m³ aplicados de modo contínuo sobre as vigas, em conjunto com a colocação de lã de rocha na caixa de ar, ensaio D, o RRAE é cumprido com maior folga, de modo exemplar.

Posto isto, confirma-se a ideia que persiste desde o início do presente trabalho de que os pavimentos em madeira que não conseguem corresponder aos requisitos do RRAE do modo que são encontrados nos edifícios, conseguem-no facilmente recorrendo a pequenas medidas interventivas. À exceção dos pavimentos em madeira sem qualquer revestimento inferior, que carecem naturalmente de intervenções mais elaboradas como por exemplo a criação de um revestimento inferior, como já mencionado, todos os outros se conseguem adaptar às exigências legislativas com recurso a meios acessíveis, práticos, facilmente adaptáveis e de rápida resolução.

Não se deixa passar em vão que naturalmente existem incertezas associadas aos cálculos que permitem a obtenção dos índices indicados no quadro 7.8, intimamente relacionadas com as medições em laboratório, mas também com os processos de adaptação que os mesmos sofrem para contabilizar o efeito das transmissões marginais que de modo “puro” não englobam. São adaptações extremamente simplistas, aplicadas unicamente com vista à obtenção de valores que possam ser comparáveis com a legislação. Para todo o efeito são conclusões retiradas com base em métodos experimentais que comprovam a ideia do autor de que, sob o ponto de vista acústico, existem soluções várias e simples para adaptação dos pavimentos tradicionais em madeira às exigências legislativas e de conforto, atuais.

7.6. COMPARAÇÃO DOS DADOS RECOLHIDOS EM LABORATÓRIO, *IN SITU* E ATRAVÉS DE MODELAÇÃO TEÓRICA

Neste momento alcança-se uma fase do presente trabalho que representa um dos objetivos primordiais, sendo o ponto de chegada a uma das mais-valias resultantes da recolha de diferentes tipos de dados, nomeadamente em laboratório (câmaras reverberantes), *in situ* (através dos pavimentos dos edifícios aos quais foi disponibilizado o acesso para ensaios acústicos) e através de modelação teórica (recorrendo a modelos teóricos de previsão do comportamento acústico dos elementos de compartimentação horizontal em estudo). Essa mais-valia corresponde à comparação entre estes diferentes tipos de dados recolhidos, permitindo assim a retirada das conclusões pretendidas.

Como já fora referido ao longo do presente capítulo, mas também em capítulos anteriores, a comparação entre dados recolhidos *in situ*, dados recolhidos nas câmaras reverberantes e/ou dados resultantes dos modelos de cálculo teóricos, só se torna possível se a estes dois últimos se adicionar, na medida do possível e de modo simplificado, o efeito das transmissões marginais que os mesmos não englobam por si só. Esse trabalho foi desenvolvido quer no capítulo 5, em 5.3.7., para os modelos de previsão do comportamento acústico, quer no capítulo 6, em 6.6.4., para os dados recolhidos em laboratório. Uma vez que os dados recolhidos *in situ* possuem a interferência das transmissões marginais presentes em cada um dos compartimentos nos quais se insere o pavimento em estudo em cada caso, consegue-se assim uma linha de comparação entre dados que estão sob o mesmo domínio do ponto de vista acústico. Deste modo é possível reunir no quadro 7.9 os índices de isolamento sonoro padronizado a sons de condução aérea, bem como a sons de percussão, dos pavimentos ensaiados acusticamente *in situ*, associando ainda a cada caso os mesmos índices, mas tendo estes como origem os modelos de previsão comportamental. Já a comparação com os índices tipo obtidos com base nos dados recolhidos em laboratório só é possível para alguns dos casos ensaiados *in situ*, uma vez que não foram realizados ensaios acústicos em laboratório de modo suficiente para estabelecer uma comparação de comportamento acústico com todos os pavimentos encontrados nos edifícios visitados. As variantes de pavimentos em madeira que se ensaiaram em laboratório basearam-se nos pavimentos tradicionais em madeira do século XVIII e XIX, mas estes últimos apresentam, como outrora fora constatado, uma variabilidade e versatilidade de soluções construtivas que impossibilitam que em tempo real de desenvolvimento do presente trabalho sejam todas analisadas em laboratório. Surgem por outro lado as condicionantes económicas que naturalmente influenciariam esse plano de ensaios acústicos.

Torna-se agora o momento adequado para relembrar o autor de que as comparações efetuadas estarão sempre sujeitas às características próprias de cada solução construtiva. Isto é, nenhuma variante de pavimento ensaiada acusticamente em laboratório, corresponde na íntegra ao pavimento ensaiado acusticamente *in situ*. Estas pequenas discrepâncias podem ocorrer ao nível da espessura do soalho, da dimensão da caixa de ar, do recobrimento do fasquiado ou simplesmente na categoria das argamassas utilizadas para constituir o reboco. Sendo de pequeno calibre, são diferenças que podem ser ultrapassadas para efeitos de análise teórica, devendo o leitor mais interessado nesta matéria consultar os anexos A e B, onde constam os boletins de ensaio, quer *in situ*, quer laboratoriais, respetivamente, para assim perceber de modo minucioso a constituição construtiva de cada pavimento em madeira ensaiado.

Quadro 7. 9 - Resumo dos índices de isolamento sonoro padronizado a sons de condução aérea, bem como a sons de percussão, dos pavimentos em madeira ensaiados *in situ* e os seus equiparáveis em laboratório e através de modelos de cálculo teóricos

Edifício	$D_{nT,w}$ <i>in situ</i>	$D_{nT,w}$ teórico	$D_{nT,w}$ tipo	$L'_{nT,w}$ <i>in situ</i>	$L'_{nT,w}$ teórico	$L'_{nT,w}$ tipo	Boletim de ensaio <i>in situ</i> [Anexo A]	Boletim de ensaio laboratorial [Anexo B]
Caso 1	50	36	56	62	77	61	01 e 02	A10 e A11
Caso 2	29	27	29	81	94	85	07 e 08	A7 e A8
Caso 3	19	27	29	84	94	85	09 e 10	A7 e A8
Caso 4	30	27	-	88	89	-	03 e 04	-
Caso 5	28	26	-	67	82	-	05 e 06	-
Caso 6	42	27	-	61	74	-	11 e 12	-
Caso 7	49	28	56	56	85	61	13 e 14	A10 e A11
Caso 8	47	44	-	52	68	-	15 e 16	-
Caso 9	32	30	56	67	80	61	17 e 18	A10 e A11
Caso 10	45	51	-	62	61	-	19 e 20	-

Os ensaios laboratoriais que permitem agora uma comparação condicionada com os ensaios *in situ*, são os ensaios A e F, correspondendo ambos a soluções tradicionais sem qualquer intervenção sob o domínio da melhoria do seu comportamento acústico. O ensaio A corresponde apenas ao soalho sobre as vigas de madeira, com um $D_{nT,w}$ tipo de 29 dB e um $L'_{nT,w}$ tipo de 85 dB; já o ensaio F apresenta na sua constituição construtiva o fasquiado com estuque como revestimento inferior do pavimento, além do soalho e das vigas de madeira, naturalmente, apresentando um $D_{nT,w}$ tipo de 56 dB e um $L'_{nT,w}$ tipo de 61 dB.

A primeira conclusão que se consegue retirar da análise do quadro 7.9, indica que os resultados obtidos por adaptação através dos ensaios laboratoriais se aproximam mais dos resultados recolhidos *in situ* do que os resultados obtidos através de modelos de cálculo teóricos. Estes últimos, consegue-se entender, não de modo geral, mas maioritário, aproximam-se mais, ao nível dos índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea, dos resultados encontrados *in situ* quando o pavimento é constituído apenas por soalho e vigas de madeira, como o é nos casos 2 e 3. Também quando o revestimento inferior do pavimento em madeira se encontra materializado em ripado de madeira de pinho, como o é nos casos 4 e 5, o índice de isolamento sonoro padronizado a sons de condução aérea obtido com origem nos modelos de cálculo, aproxima-se do mesmo índice obtido *in situ*. Quando a tipologia construtiva dos pavimentos em madeira se altera, quer seja para englobar o revestimento inferior do pavimento em fasquiado com estuque, quer seja para considerar outras camadas de revestimento do pavimento que não as indicadas, os dados obtidos através dos modelos de cálculo, salvo raras exceções, apresentam uma discrepância gigantesca com os dados obtidos em ensaios *in situ*. O mesmo se aplica ao índice de isolamento sonoro a sons de percussão com origem na modelação teórica, que em nada se assemelha ao mesmo índice obtido através dos ensaios *in situ*, com a agravante de que, no que diz respeito a este índice, não existe nenhuma tipologia construtiva que se aproxime razoavelmente dos resultados teóricos. Enquanto que para o índice de isolamento sonoro padronizado a sons de condução aérea, algumas

tipologias construtivas se encontram relativamente bem relacionadas com os modelos de cálculo teóricos, o cenário é mais gravoso para o índice de isolamento sonoro padronizado a sons de percussão.

Estes factos, conseguem ser justificados com base em dois princípios. O primeiro destes reside na situação em que se encontram as variáveis encontradas na bibliografia para o fasquiado com estuque. O módulo de elasticidade desta camada de revestimento inferior de pavimentos em madeira, a sua massa volúmica, bem como o seu coeficiente de perdas, são variáveis que se encontram pouco documentadas, mas fundamentalmente, pouco estudadas. A justificação possível para o pouco interesse que se desenvolve em torno desta solução construtiva, passa por ser uma variante de construção que se encontra nos tempos hodiernos ultrapassada por tecnologias de construção mais sofisticadas, mais práticas e mais economicamente rentáveis. Cada vez mais é do conhecimento comum na área da engenharia civil, o interesse por soluções que recorram à pré-fabricação, colocando grande parte da responsabilidade e risco no domínio da fabricação fora do estaleiro da obra. O fasquiado com estuque, por exemplo, é uma solução tradicional que recorre sobretudo a tempo de mão-de-obra e conhecimento, por parte da mesma, dos métodos construtivos. Assim sendo, a solução só se encontra presente nos nossos dias quando ainda persiste desde o tempo de construção dos edifícios que agora carecem de reabilitação, ou quando existe interesse maior em reaproveitar essa mesma solução construtiva, sendo que, quando a decisão recai junto dos projetistas, estes preferem a opção de demolição para erguer soluções correntes das quais já dominam o conhecimento e nas quais encontram maior facilidade de trabalho e avocação da responsabilidade. Juntando a este aspeto o facto de o fasquiado com estuque ser um sistema composto por dois materiais de construção, a madeira de pinho (em geral) e o gesso, a determinação das variáveis que interessam para a previsão do seu comportamento acústico torna-se mais complexa, e como tal de menor interesse. Deste modo inserir num modelo de cálculo teórico as variáveis corretas para este tipo de soluções construtivas tradicionais, bem como a própria adaptação desses mesmos modelos de cálculo, torna-se num verdadeiro desafio. Por outro lado, e enunciando o segundo princípio justificador da disparidade observada entre os resultados provenientes dos modelos de cálculo teóricos e os resultados obtidos através dos ensaios *in situ* para o índice de isolamento sonoro padronizado a sons de percussão, surge o facto de os modelos de cálculo indicados nas normas em vigor, nomeadamente na norma EN 12354-2, estarem intimamente correlacionados com a construção hodierna em betão armado. De facto, os cálculos de previsão comportamental no domínio acústico que a norma indica, foram elaborados e ajustados com preferência para as características das lajes de betão armado, que são sem dúvida, e inegavelmente, a tipologia construtiva mais corrente nos tempos hodiernos para elementos de compartimentação horizontal. Não significa que a norma se encontre desatualizada, porque de facto vai de encontro aos interesses maiores da atualidade da engenharia civil, no entanto deveria existir uma preocupação paralela para entender o comportamento acústico dos elementos de compartimentação horizontal que são encontrados nos edifícios agora reabilitados, nomeadamente dos pavimentos em madeira, de modo a possibilitar outras escolhas confortáveis aos projetistas, como a reabilitação tranquila e simples dos pavimentos encontrados, contrariando a tendência de demolição e substituição por laje de betão armado.

Comprovando ainda esta linha de visão acerca dos modelos de cálculo teóricos e das suas limitações, apresentam-se nas figuras seguintes as curvas de isolamento sonoro teóricas, laboratoriais e *in situ* obtidas para as tipologias de pavimentos em madeira que permitiram essa análise. Reforçando a ideia de que dados em bases diferentes não podem ser comparados diretamente, em cada uma das figuras que segue a relação de comparação direta apenas se pode estabelecer entre as curvas de isolamento sonoro obtidas por meio dos modelos de previsão comportamental e as curvas de isolamento sonoro obtidas em laboratório nas câmaras reverberantes, ambas sem qualquer efeito relativo a transmissões marginais.

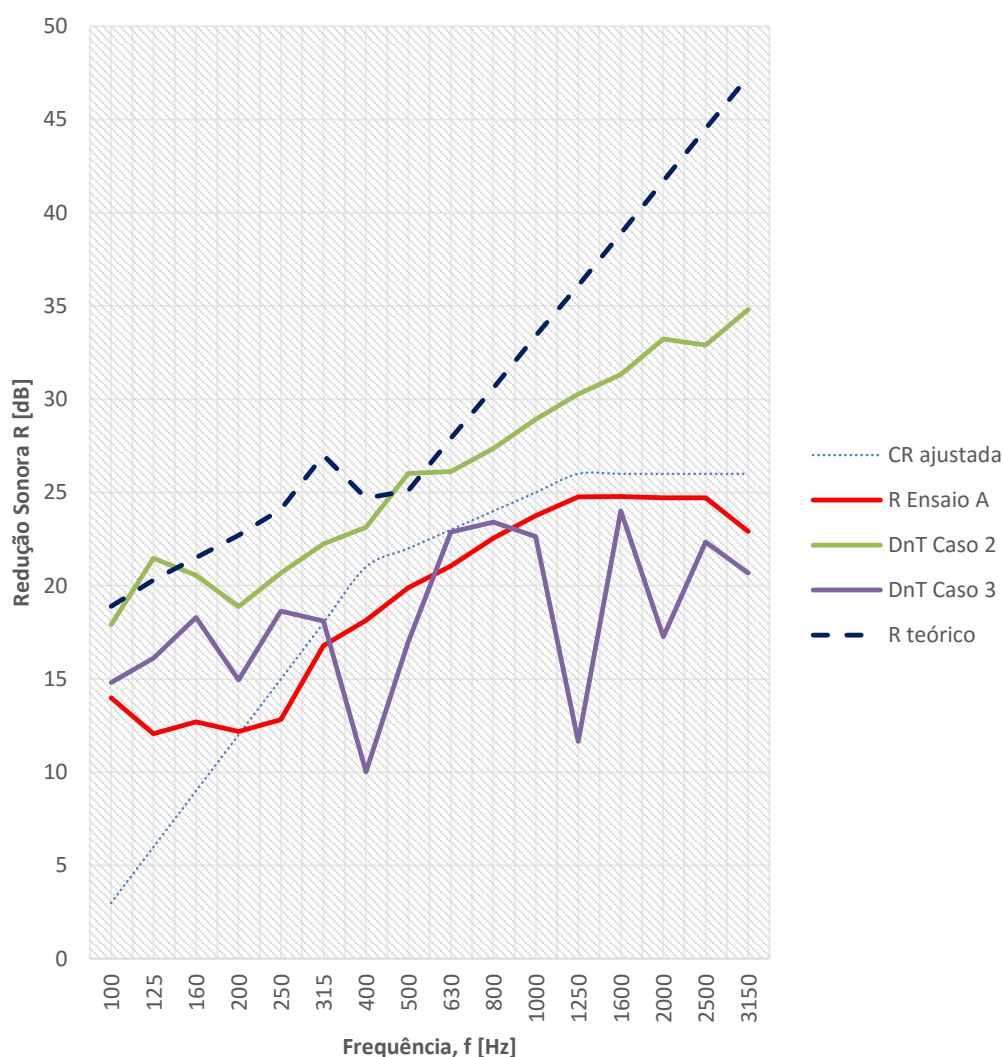


Figura 7. 10 - Comparação entre curvas de isolamento sonoro a sons de condução aérea do ensaio A, curva teórica correspondente e curvas de ensaios *in situ* comparáveis

Analisando a figura 7.10 percebe-se de modo mais descritivo do que interpretando unicamente os índices de isolamento sonoro, que os modelos de cálculo teóricos se encontram de facto com uma distinção considerável da realidade observada em laboratório. A curva de isolamento sonoro relativa aos modelos teóricos deriva de uma aplicação específica para o pavimento ensaiado na câmara reverberante, ensaio A, permitindo a comparação direta. A curva de isolamento sonoro associada ao ensaio A, relativo ao pavimento em madeira constituído unicamente pelo soalho e pelas vigas, aproxima-se relativamente bem da curva de referência, CR, e percebe-se a semelhança que seria de esperar com a curva relativa ao ensaio a sons de condução aérea *in situ* do caso 2. O caso 3 manifesta uma curva de isolamento sonoro que já foi abordada no momento de discussão dos resultados dos ensaios *in situ*, acima em 7.2, e que claramente divulga o estado de degradação do pavimento que permite fugas de sons aéreos, não podendo aqui ser termo que comparação válido. Relativamente aos índices de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea dos casos 2 e 3, relativos ao quadro 7.9, percebe-se a boa relação existente com os mesmos índices obtidos de modo simplista, com origem no ensaio A, em laboratório, (com a exceção do caso 3 que foi devidamente explicado acima, em 7.2 e que como tal não deve ser meio de comparação

válido) pelo que se comprova que são os modelos teóricos que necessitam, neste domínio, de um aperfeiçoamento urgente e de relativa complexidade.

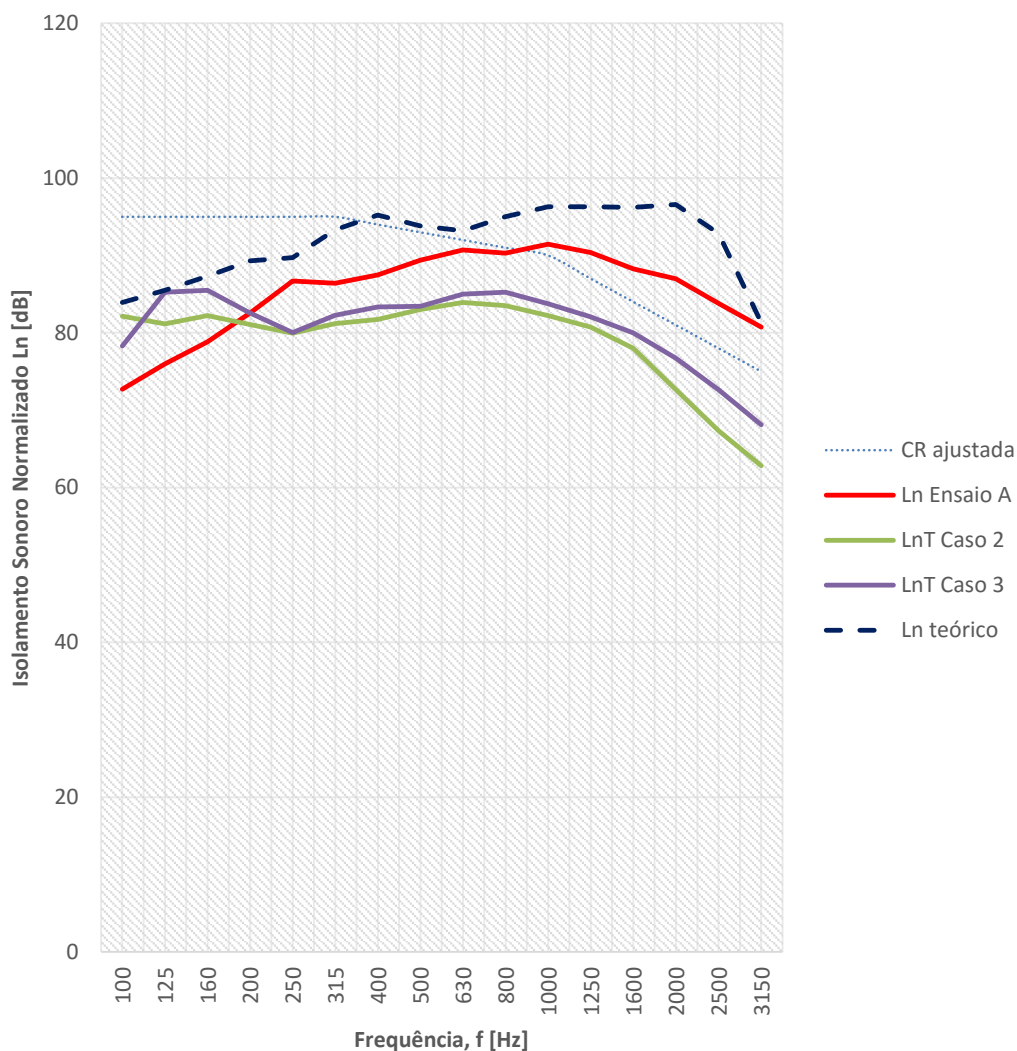


Figura 7. 11 - Comparação entre curvas de isolamento sonoro a sons de percussão do ensaio A, curva teórica correspondente e curvas de ensaios *in situ* comparáveis

A curva de isolamento sonoro obtida com base em modelação teórica, exibida na figura 7.11, é resultado da representação teórica da constituição física do pavimento, ensaiado em laboratório, no ensaio A, possibilitando assim a comparação direta. Havendo uma distinção clara entre as duas curvas, uma resultante do ensaio A, a sons de percussão em laboratório, a outra resultante dos modelos teóricos, essa mesma discrepância não é, no entanto, tão acentuada quanto a existente entre as duas curvas para os sons de condução aérea, na figura 7.10. Percebe-se também que os modelos teóricos divulgam aqui um resultado pelo lado da segurança, indicando um isolamento sonoro a sons de percussão inferior ao que de facto a solução construtiva traduz, no entanto, através de uma diferença que não se torna exequível. Por outro lado, e como comprovam os índices de isolamento sonoro padronizado a sons de percussão representados no quadro 7.9, os resultados tipo obtidos para o ensaio A, respeitantes a sons de percussão,

encontram-se próximos dos calculados *in situ* nos casos 2 e 3, sendo os pavimentos em tudo semelhantes. Claro está, que como já fora referido, *in situ*, existe sempre a espessura do soalho que varia, a viga de madeira que é mais ou menos espessa, entre outros fatores, além das transmissões marginais que estão presentes, pelo que os resultados nunca possibilitariam a coincidência das curvas de isolamento sonoro. Estas mesmas curvas mostram, portanto, o isolamento sonoro superior por parte dos pavimentos em madeira dos casos 2 e 3, ainda que os índices de isolamento sonoro comprovem que essa diferença é reduzida. No entanto, a curva obtida em laboratório para o ensaio A, demonstra o decaimento previsto nas altas frequências, comprovando não haver influência por parte dos sons aéreos no resultado final, o que valida mais uma vez o ensaio, bem como o seu resultado.

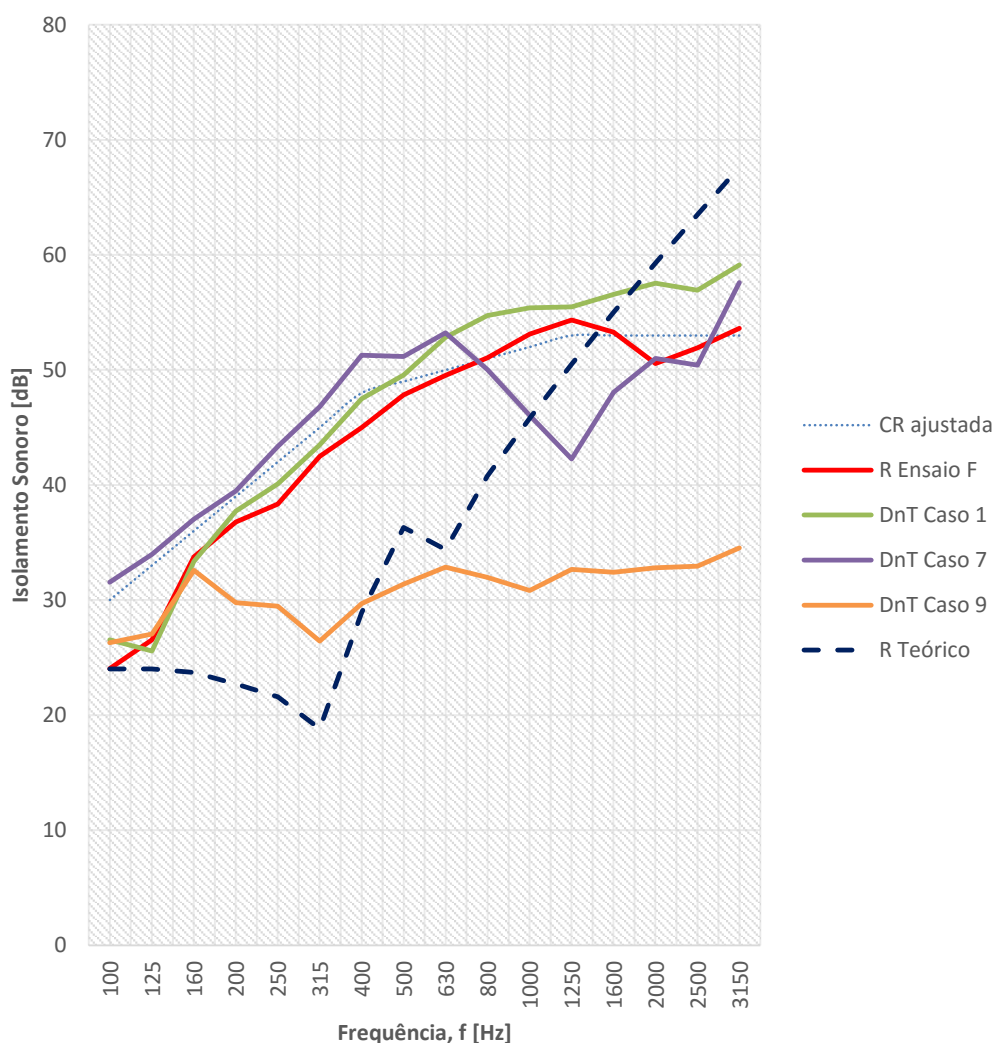


Figura 7. 12 - Comparação entre curvas de isolamento sonoro a sons de condução aérea do ensaio F, curva teórica correspondente e curvas de ensaios *in situ* comparáveis

Dirigindo agora as atenções para o ensaio F, realizado em laboratório, nas câmaras reverberantes, este permite a comparação simplificada dos seus resultados, com os obtidos *in situ* nos casos 1, 7 e 9, dado serem pavimentos semelhantes, constituídos por soalho, vigas em madeira e revestimento inferior do pavimento em fasquiado com estuque. A figura 7.12, representa as curvas de isolamento sonoro a sons

de condução aérea desses mesmos ensaios, e ainda a resultante da aplicação dos modelos teóricos para a constituição da variante de pavimentos em madeira agora analisada, correspondente ao ensaio F. Nesta área, mais uma vez se observa a discrepância entre os resultados previstos teoricamente para o comportamento acústico da solução em causa e os resultados obtidos em laboratório. Já anteriormente se tinha concluído que aquando da inclusão do fasquiado com estuque, como modo de revestimento inferior dos pavimentos em madeira, os modelos teóricos pioram o seu comportamento na previsão dos índices de isolamento sonoro dos pavimentos. Tal facto confirma-se mais uma vez com análise das curvas representadas na figura 7.12. Os modelos teóricos preveem um comportamento acústico do pavimento em madeira, no que diz respeito aos sons aéreos, em muito inferior ao que de facto a solução construtiva prova conseguir em ensaio na câmara reverberante, tal como já se previa partindo dos resultados *in situ* que também mostram um índice de isolamento sonoro padronizado a sons de condução aérea superior ao previsto teoricamente por adaptação. Não discutindo agora a representação das curvas de isolamento sonoro a sons de condução aérea dos ensaios *in situ*, dado ter sido desenvolvido esse trabalho em 7.2., à exceção do ensaio do caso 9, que foge completamente da área de abrangência dos restantes ensaios idênticos (foram observadas neste ensaio fugas de som aquando da realização do ensaio a sons de condução aérea), a curva de isolamento sonoro obtida em laboratório aproxima-se favoravelmente das curvas obtidas *in situ*, bem como da curva de referência, CR, sendo que desta, aproxima-se de modo exemplar. Consegue-se assim concluir que não havendo pormenores a registar na curva de isolamento sonoro a sons de condução aérea proveniente do ensaio F em laboratório, uma vez que esta valida os resultados obtidos nos ensaios *in situ*, os modelos teóricos necessitam de facto de uma adaptação séria ao tipo de pavimentos em causa. Recorrendo ao quadro 7.9, mais uma vez se confirma que os índices de isolamento sonoro padronizado a sons de condução aérea obtidos através dos ensaios *in situ*, aproximam-se mais dos mesmos índices obtidos de modo simplista, índices tipo, em laboratório no ensaio F, do que dos modelos de cálculo aplicados a cada uma das tipologias construtivas encontradas nos edifícios visitados.

Continuando com a análise do ensaio F, na figura 7.13 representam-se as curvas de isolamento sonoro a sons de percussão do próprio ensaio F em laboratório, dos ensaios *in situ* realizados em pavimentos com tipologia construtiva semelhante, caso 1, 7 e 9, e ainda a curva de isolamento sonoro obtida para essa mesma solução de construção de pavimento em madeira, através de modelos de cálculo teóricos. Analisando as diferentes curvas, aquela que se destaca de modo mais significativo, demonstrando um comportamento por banda de frequência distinto das restantes, diz respeito à curva prevista teoricamente para o comportamento acústico do pavimento em madeira. Não representando nada de novo, os modelos teóricos mais uma vez são aqueles que preferencialmente se afastam da realidade, prevendo um isolamento sonoro a sons de percussão da solução construtiva em causa, em muito inferior aquele que de facto esta representa aquando dos ensaios laboratoriais. Mesmo sendo uma previsão pelo lado da segurança, está tão longe da realidade que não pode ser encarada como uma previsão de comportamento acústico válida. Tal como nos índices de isolamento sonoro padronizado a sons de percussão, descritos no quadro 7.9, é o ensaio laboratorial, aqui através da sua curva de isolamento sonoro, que mais se aproxima dos ensaios realizados *in situ*. Este facto, valida os ensaios *in situ*, e ao mesmo tempo prova que os ensaios obtidos em laboratório, embora sem contabilizar o efeito das transmissões marginais, bem como das restantes variáveis presentes *in situ*, permitem uma boa análise da realidade e um acesso credível a resultados essenciais. Todas as curvas representadas na figura 7.13, à exceção da resultante de aplicação dos modelos de cálculo teóricos, mostram um decaimento nas altas frequências, o que é positivo, provando que não houve interferência por parte dos sons aéreos nos ensaios a sons de percussão.

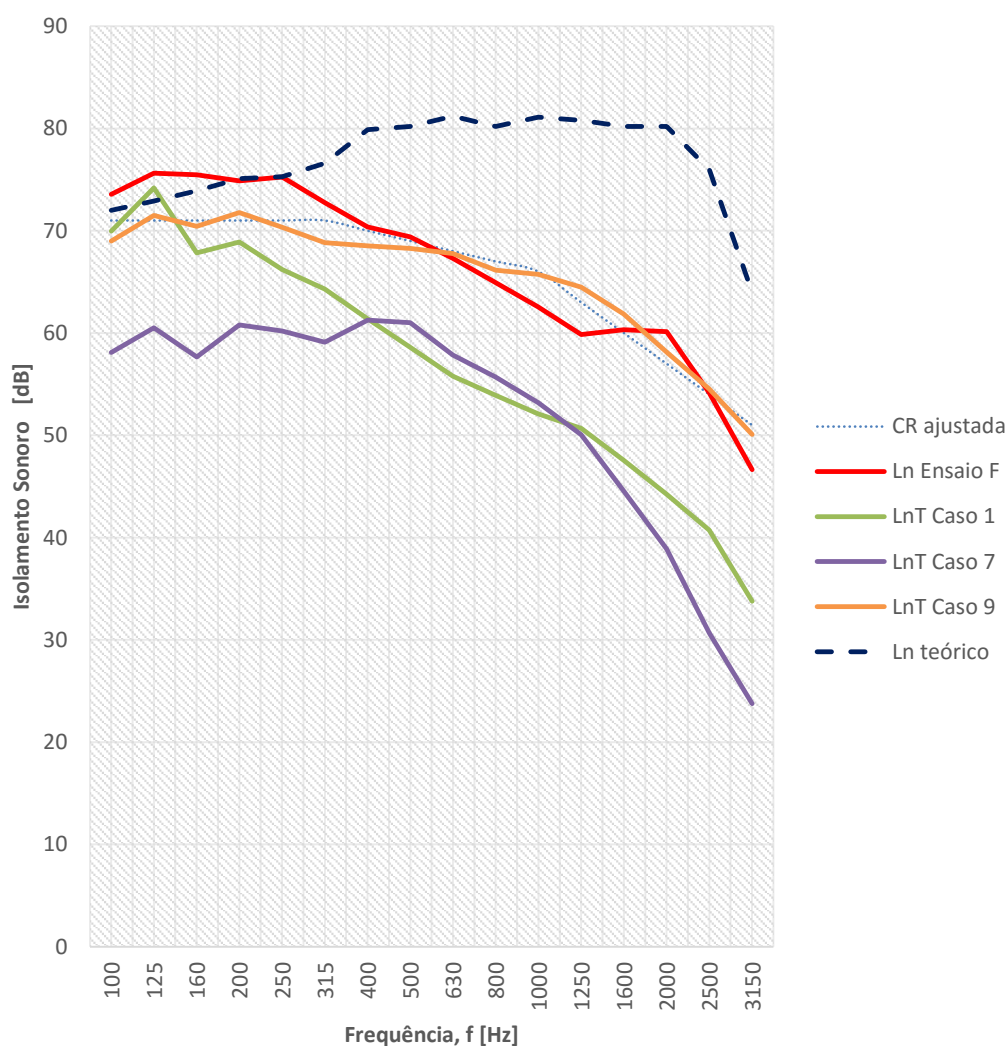


Figura 7. 13 - Comparação entre curvas de isolamento sonoro a sons de percussão do ensaio F, curva teórica correspondente e curvas de ensaios *in situ* comparáveis

No final desta análise retêm-se essencialmente que os ensaios laboratoriais são o melhor modo de compreender, estudar e melhorar o comportamento real dos elementos de compartimentação horizontal. Estes ensaios, permitem perceber até que ponto os ensaios *in situ* podem ser considerados uma amostra representativa do comportamento acústico das diferentes tipologias construtivas de pavimentos em madeira, tendo-se alcançado a conclusão de que no presente trabalho, os ensaios *in situ* representam de facto uma mais valia para o aumento de uma biblioteca de dados acústicos que é ainda escassa nesta matéria. Por outro lado, só com os ensaios laboratoriais se consegue alcançar experiências que podem ser autenticamente revolucionadores do comportamento acústico de pavimentos em madeira, sendo que foram aqui dados pequenos passos nesse sentido. Verifica-se ainda que os ensaios laboratoriais aprovam um comportamento acústico em muito semelhante ao comportamento acústico dos pavimentos em madeira ensaiados *in situ*.

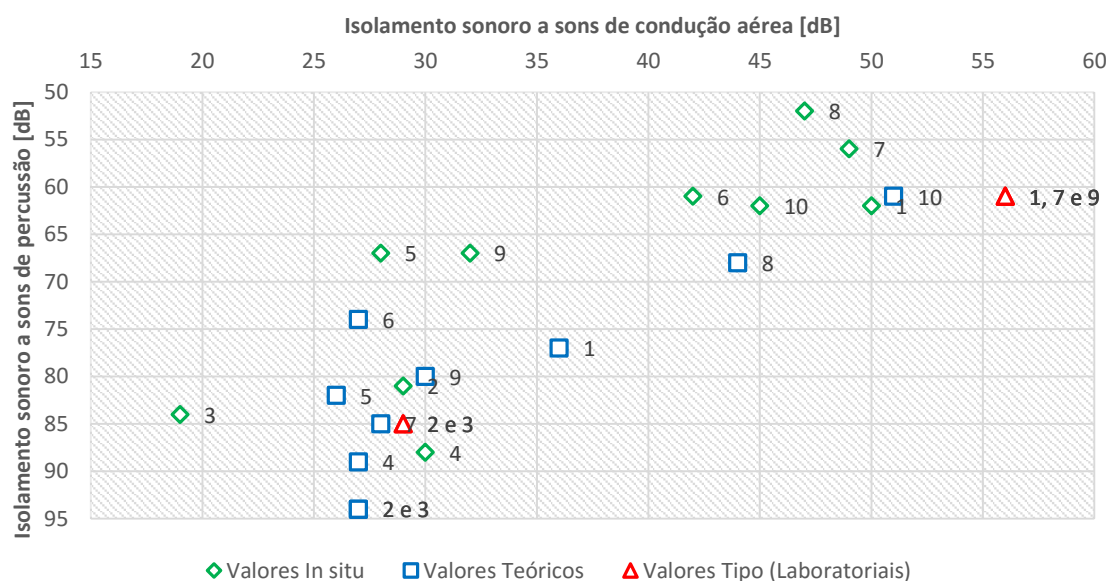


Figura 7. 14 - Gráfico comparativo dos índices de isolamento sonoro obtidos nos ensaios in situ, índices tipo (laboratoriais) e através da aplicação de modelos de cálculo teóricos

Persiste nesta altura o sentimento e conclusão de que pelo lado dos modelos teóricos de previsão do comportamento acústico de elementos de compartimentação horizontal, figura 7.14 (consultar em tamanho superior em anexo), existe ainda um longo caminho a percorrer, sendo que muito tem que ser estudado, pesquisado e desenvolvido até que estes modelos teóricos se adequem com algum perfeccionismo aos pavimentos em madeira estudados neste trabalho. A figura 7.14 denuncia claramente a visão pessimista que os modelos teóricos transmitem acerca do comportamento acústico dos pavimentos em madeira. Entende-se, no entanto, que esta devia ser uma prioridade de entre as várias temáticas que a engenharia civil aborda. De facto, os projetistas a trabalhar na área da acústica não detêm atualmente ferramentas suficientes para garantirem um bom desempenho por parte das soluções construtivas que encontram nos edifícios carentes de reabilitação, sendo que a realização de ensaios laboratoriais em tempo real de projeto é inexequível. O autor encontra-se neste momento certo de que uma melhoria nos modelos de cálculo teóricos, transportando os mesmos para uma visão próxima da realidade, consistiria num contributo gigante para a manutenção da identidade patrimonial e histórica dos edifícios reabilitados, bem como para a sustentabilidade na construção que nos tempos hodiernos tanta tinta faz correr.

7.7. PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Retém-se nesta altura as ideias principais que se conseguem concluir com o presente trabalho.

Os modelos de previsão do comportamento acústico dos elementos de compartimentação horizontal não se adaptam à realidade observada em laboratório, ficando estes aquém do esperado.

Por outro lado, os resultados obtidos em laboratório, nas câmaras reverberantes, traduzem de modo adequado a realidade observada aquando dos ensaios acústicos *in situ*, pelo que se pode considerar o laboratório como o melhor local para estudar, investigar, aplicar e desenvolver soluções inovadoras ao

nível do isolamento sonoro entre compartimentos, no presente caso, elementos de compartimentação horizontal.

Por último, mas traduzindo a principal conclusão do presente trabalho, os pavimentos tradicionais em madeira conseguem ser facilmente adaptados de modo a cumprir a legislação atual sob o ponto de vista acústico. Apresentam ainda a vantagem de, com pequenas ações de reabilitação, melhorarem significativamente o conforto de quem ocupa os espaços separados por este tipo de elementos de compartimentação, sendo assim alcançados índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea, bem como a sons de percussão, bastante satisfatórios.

7.8. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Chegando ao fim do presente trabalho, surge oportunidade para refletir acerca dos desenvolvimentos alcançados, mas também acerca de desenvolvimentos futuros que possam dar continuidade às conclusões aqui presentes. Esta mesma tese que agora termina deu continuidade a propostas anteriores que sugeriam ações, trabalhos e desenvolvimentos como os que se levaram a cabo. Torna-se importante perceber os limites alcançados e por outro lado a ausência de limites do conhecimento, da pesquisa e do desenvolvimento científico que as mais variadas áreas da acústica dos edifícios apresentam.

Os ensaios acústicos *in situ* aqui desenvolvidos, surgiram pela primeira vez na cidade de Amarante para desenvolvimento de um trabalho experimental e científico. Pessoas que nunca tinham antes ouvido falar acerca da acústica dos edifícios, tiveram o seu primeiro contacto, embora curto, com o tema e com a necessidade hodierna de existirem preocupações desta índole, de modo a melhorar o conforto e comodidade das pessoas. Estas mesmas, entendem essa necessidade, apontam reclamações acerca dos edifícios que frequentam e percebem que o trabalho aqui desenvolvido é um trabalho útil e necessário para a engenharia civil, para a sociedade, para o bem-estar de quem usufrui dos edifícios. Assim sendo, de modo a perceber mais e melhor o comportamento acústico dos pavimentos em madeira, torna-se necessária a continuidade de campanhas de recolha de dados *in situ*, abrangendo uma amostra tão grande e dispersa quanto possível, aumentando e credibilizando a biblioteca de dados disponível e para a qual se contribuiu. Ensaios acústicos noutras cidades, noutras tipologias de pavimentos tradicionais, traduzem-se sem duvida numa mais-valia para toda a comunidade projetista (bem como para a engenharia em geral) que hoje mais do que nunca necessita de ter certezas, de ter conhecimento, de ter garantias acerca dos trabalhos que desenvolve. Estudar as soluções tradicionais, as soluções que estão presentes nos edifícios reabilitados ou a carecer de reabilitação num futuro próximo, acarreta um passo gigante na manutenção da identidade patrimonial, histórica e cultural desses mesmos edifícios, ao passo que, em paralelo, contribui de modo significativo para a diminuição dos resíduos na construção e como tal para o aumento da sustentabilidade associada à atividade da engenharia civil.

Por outro lado, os ensaios laboratoriais permitiram perceber a potencialidade dos mesmos, quer seja para entender o comportamento das soluções de elementos de compartimentação horizontal presentes nos edifícios, quer seja para validar os resultados recolhidos *in situ*, permitindo por outro lado, retirar conclusões especialmente necessárias, acerca de variantes que se pensam como soluções interventivas que melhoram o comportamento acústico dos pavimentos em madeira. Testadas tais soluções em laboratório, conseguem-se confirmar as melhorias que essas mesmas variantes acarretam, pelo que deveriam ser ensaiadas laboratorialmente nas câmaras reverberantes, novas soluções, para melhorar o comportamento acústico destes elementos da construção. A presença de um teto suspenso em gesso cartonado como modo de revestimento inferior dos pavimentos em madeira, ou a colocação de uma camada superior em piso flutuante sobre o soalho em madeira, são apenas exemplos de variantes que deveriam ser testadas laboratorialmente de modo a entender cientificamente as suas vantagens sobre o

ponto de vista acústico. Ter o conhecimento de que as soluções melhoram o comportamento acústico dos pavimentos tradicionais em madeira é algo positivo, mas saber descritivamente através do comportamento em laboratório como é que essas soluções se comportam, nomeadamente ao longo das diferentes bandas de frequência, é algo realmente fantástico para a atividade da reabilitação acústica e urbana.

Assim sendo, aproveita-se ainda o momento para explicar com maior detalhe a nota número 2 que aparece tanto no capítulo 6, como no capítulo 7, aquando da apresentação de alguns índices R_w , obtidos no momento dos ensaios laboratoriais. Durante a realização do trabalho que agora culmina surgiu a oportunidade de realizar, para grande parte das variantes de pavimentos em madeira ensaiadas acusticamente, dois ensaios de determinação da redução sonora a sons de condução aérea. A única diferença entre estes dois ensaios consiste na posição da fonte sonora na câmara emissora, que em um dos ensaios se localiza diretamente sobre o pavimento, e num outro se posiciona na bordadura da gola que separa a câmara emissora da câmara recetora, ou seja, a 30 cm do pavimento em madeira em estudo. O objetivo deste duplo posicionamento da fonte sonora na câmara emissora residiu na curiosidade de perceber qual a influência que o mesmo acarreta ao nível do índice de redução sonora a sons de condução aérea, mas também ao nível da curva de isolamento sonoro proporcionada pela amostra. A conclusão a que se chega no final deste estudo é a de que, quando se coloca a fonte sonora na bordadura, ou seja, não diretamente apoiada sobre o pavimento, a curva de isolamento sonoro obtida melhora o seu comportamento ao nível das baixas frequências, isto é, existe uma translação vertical da curva de isolamento sonoro no sentido ascendente, quando comparada com a curva de isolamento sonoro proveniente do ensaio com a fonte sonora diretamente apoiada sobre o pavimento. Ao nível dos índices de redução sonora obtidos nesses ensaios a oscilação não ultrapassa 1 dB, não sendo significativa. No entanto, a melhoria que se faz sentir ao nível das baixas frequências na curva de isolamento sonoro, é correspondida por um decréscimo verificado ao nível das altas frequências, permitindo concluir que não existe uma vantagem maior em colocar a fonte sonora sem contacto direto com o pavimento em madeira. Possuindo a fonte sonora apoios resilientes que impedem a transferência das vibrações originadas por esta aquando da emissão de sons aéreos, seria de esperar que a diferença sentida aquando da colocação da fonte sonora na bordadura da gola da câmara emissora fosse de amplitude reduzida. Por outro lado, esta conclusão aparece no ponto dedicado aos desenvolvimentos futuros, porque o estudo realizado em torno do assunto foi claramente superficial, não apresentando o aprofundamento e fundamento necessário para se obter conclusões gerais válidas. Para tal, teria o maior interesse um trabalho futuro que se dedique exclusivamente a perceber a influência que o posicionamento dos diversos equipamentos envolvidos nos ensaios acústicos em laboratório traduz para os resultados finais obtidos. Uma certeza fica aqui presente: existem variações detetáveis quando se modificam essas posições. Caberá a um desenvolvimento futuro perceber e quantificar de modo correto essas mesmas variações.

Por último, os modelos de previsão do comportamento acústico dos pavimentos em madeira utilizados nos tempos hodiernos, tal como se insistiu ao longo de todas as conclusões retiradas no presente trabalho, encontram-se fortemente desatualizados, não correspondendo os resultados encontrados a uma versão comparável com os resultados reais. Como tal, seria de maior interesse o desenvolvimento de trabalhos futuros unicamente direcionados para esta componente teórica do comportamento acústico de soluções tradicionais da construção, permitindo alcançar resoluções teóricas inovadoras, adaptadas à realidade da acústica destas variantes de pavimentos. Como complemento deste ponto, surgindo como uma necessidade também ela urgente, o estudo das propriedades físicas e mecânicas dos materiais envolvidos em sistemas de construção tradicionais, nomeadamente dos que permitem a constituição do fasquiado com estuque, consistiria numa vantagem gigante para a aplicação das variáveis corretas no domínio do cálculo acústico, principalmente para previsão do seu comportamento. Indo um pouco mais além, todo o conhecimento recolhido e comprovado acerca da construção e dos materiais utilizadas no século XVIII

e XIX, será sem dúvida uma riqueza incontornável para quem se interessa pela acústica de espaços reabilitados e pela manutenção da identidade cultural desses mesmos espaços.

Entende-se assim que o trabalho aqui presente consiste num pequeno grande passo para a acústica aplicada à reabilitação urbana, mas também que o caminho é longo e muito há a fazer ainda para que esta atividade possa representar a sua máxima eficiência e produtividade, como por exemplo, estudar outros elementos dos edifícios, como as coberturas, as janelas, as portas, as claraboias, entre tantos outros, que perante ações de reabilitação necessitam de adaptações acústicas para satisfazer as necessidades da legislação, mas também de conforto e comodidade atuais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Dicionário da Língua Portuguesa com Acordo Ortográfico. *Acústica*. Porto: Porto Editora, 2003-1016, [consult. 2016-02-20 15:27:06]. Disponível na Internet: <http://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/acustica>.
- [2] Carvalho, A. P. Oliveira de. Introdução. In *Acústica Ambiental e de Edifícios*, páginas 1.1 a 1.3, FEUP, Porto, Setembro 2015.
- [3] Lindsay. *Roda Acústica*. JASA, 1964.
- [4] <http://www.prof2000.pt/users/mrsd/8ano/Producao.htm>. Acedido a 20 de Fevereiro de 2016.
- [5] Rodrigues, Rui Calejo., Queirós, Dóris. *Comportamento Acústico de Edifícios com Valor Patrimonial*. Gequaltec, Porto, 2013.
- [6] Carvalho, A. P. Oliveira de. *Acústica Ambiental e de Edifícios*. FEUP, edição 8.10. Porto. Setembro de 2015.
- [7] Ricardo. *Qualidade Acústica*. Universidade Federal do Triangulo Mineiro. Instituto de Ciências e Tecnologias. Brasil. Acedido a 22 de Fevereiro de 2016. Disponível na internet em <http://slideplayer.com.br/slide/1669430/>.
- [8] Imperialum (Sociedade Comercial de Revestimentos e Impermeabilizações, S.A.). *Conceitos Gerais de Acústica*. <http://www.imperialum.com/?solucoes=sons-aereos-e-de-percussao>. Acedido a 26 de Fevereiro de 2016.
- [9] Patrício, Jorge. *Acústica nos Edifícios*. Página 29. Verlag Dashöfer, Lisboa, 5ªEdição, Agosto 2008.
- [10] Patrício, Jorge. *Acústica nos Edifícios*. Verlag Dashöfer, Lisboa, 5ªEdição, Agosto 2008.
- [11] Mascarenhas, Jorge. *Sistemas de construção descrição ilustrada e detalhada de processos construtivos utilizados correntemente em Portugal*. Volume 4. Lisboa: Livros Horizonte, 2001.
- [12] Miranda da Silva, Rogério António. *Caracterização Acústica de Pavimentos da Casa Burguesa Portuense*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2015.
- [13] Mateus, Diogo. *Comportamento acústico de pavimentos (laje) – soluções leves versus soluções pesadas*, Construção Magazine.
- [14] Patrício, Jorge. *Reabilitação Acústica – Linhas Guia*. Página 5. Lisboa. Maio de 2008.
- [15] M. Villot e C. Guigou-Carter, "Measurement methods adapted to wood frame lightweight constructions," Building Acoustics, vol. 13, pp. 189-198, 2006.
- [16] C. Coguenanff, C. Desceliers, C. Guigou-Carter, e P. Jean, "Acoustic performance optimization under parameter and model uncertainties of a wood based floor" em 42nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering 2013, INTER-NOISE 2013: Noise Control for Quality of Life, 2013, pp. 1890-1898.
- [17] C. Guigou-Carter e C. Coguenanff, "Prediction of the acoustic performance of lightweight wood-based floor" em INTER-NOISE 2015 - 44th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, 2015.
- [18] Bolmsvik, Åsa. "Structural-acoustic vibrations in wooden assemblies .Experimental modal analysis and finite element modelling". Dissertação de Doutoramento, School of Engineering, Linnaeus University, Växjö, Sweden, 2013.

- [19] A. Hiramitsu, "Effect of floating floor and raised floor on floor impact sound insulation of wooden construction" The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 131, pp. 3320-3320, 2012.
- [20] Desernaulds, Victor. Costanzo, Ezilda. Carvalho, António. Arlaud, Blaise. "Sustainability of acoustic materials and acoustic characterization of sustainable materials", em Twelfth International Congress on Sound and Vibration. Lisboa, Julho de 2015.
- [21] N. Amirrahmadi, W. Kropp, e K. Larsson, "Identification of low-frequency forces induced by footsteps on lightweight floors", Acta Acustica united with Acustica, vol. 102, pp. 45-57, 2016.
- [22] T. Hirota, M. Tanaka, T. Murakami, A. Hiramitsu, H. Sato, e T. Sato, "Effect of floor end and supporting leg position of floating floor of wood frame construction floor on heavy-weight floor impact sound pressure level", Journal of Environmental Engineering (Japan), vol. 81, pp. 41-48, 2016.
- [23] U. Portugal. Ministério da Marinha e Ultramar. Direcção Geral do, Decreto-Lei 96/2008 de 9 de Junho [Alteração ao Decreto -Lei n.º 129/2002, de 11 de Maio 1 — Os artigos 1.º, 2.º, 3.º, 5.º, 6.º, 7.º, 8.º, 9.º, 10.º, 11.º, 12.º, 13.º, 14.º e 15.º do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, aprovado pelo Decreto -Lei n.º 129/2002, de 11 de Maio, passam a ter a seguinte redacção]. Lisboa: Imprensa Nacional-Casa da Moeda, 2008.
- [24] Mais de um milhão de portugueses expostos a ruído que afeta o sono. Jornal de Notícias. 28 de Fevereiro de 2016.
- [25] Mais de um milhão de portugueses sujeitos a níveis de ruído que provocam alterações do sono. Rádio Renascença. 28 de Fevereiro de 2016.
- [26] Patrício, Jorge. *Método LNEC para avaliação e classificação da qualidade acústica de edifícios habitacionais*. LNEC. 1ª edição, 2013, Lisboa.
- [27] Costa, L. *Tipificação de soluções de reabilitação de pavimentos estruturais em madeira em edifícios antigos*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
- [28] https://www.testo.com.br/pt/home/products/rpm_luz_e_som/rpm_luz_e_som.jsp. Acedido a 03 de abril de 2016.
- [29] <http://www.cassioborges.com.br/gesso>. Acedido a 04 de abril de 2016.
- [30] Silva, Junior. *Avaliação do desempenho acústico de edificações segundo a nbr 15575*. Universidade Federal de Pernambuco. Brasil.
- [31] 2000, Flex. *Aglomex Acoustic 200FR*. Ficha Técnica, Flex2000. Ovar, 2012.
- [32] Bies, David A., Hansen, Colin H. *Engineering Noise Control*. Spon Press, London, 2009.
- [33] ISO (International Organization for Standardization). 2010. *Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements — Part 5: Requirements for test facilities and equipment*. ISO 10140-5. Geneva: ISO. Acedido a 10 de maio de 2016.
- [34] ISO (International Organization for Standardization). 2010. *Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements — Part 4: Measurement procedures and requirements* ISO 10140-4. Geneva: ISO. Acedido a 10 de maio de 2016.
- [35] ISO (International Organization for Standardization). 2010. *Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements — Part 2: Measurement of airborne sound insulation* ISO 10140-2. Geneva: ISO. Acedido a 10 de maio de 2016.

- [36] ISO (International Organization for Standardization). 2010. *Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements — Part 3: Measurement of impact sound insulation ISO 10140-3*. Geneva: ISO. Acedido a 10 de maio de 2016.
- [37] NP EN ISO (Norma Portuguesa Norma Europeia International Organizatio Standardization). 2014. *Acústica – Medição in situ do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 1: Isolamento a sons de condução aérea. NP EN ISO 16283-1*. Caparica: IPQ.
- [38] NP EN ISO (Norma Portuguesa Norma Europeia International Organizatio Standardization). 2014. *Acústica – Medição in situ do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 2: Isolamento a sons de percussão. NP EN ISO 16283-2*. Geneva: ISO.
- [39] NP EN ISO (Norma Portuguesa Norma Europeia International Organizatio Standardization). 2013. *Acústica – Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 1: Isolamento a sons de condução aérea. NP EN ISO 717-1*. Caparica: IPQ.
- [40] NP EN ISO (Norma Portuguesa Norma Europeia International Organizatio Standardization). 2013. *Acústica – Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 2: Isolamento a sons de percussão. NP EN ISO 717-2*. Caparica: IPQ.
- [41] Engil, Mota. *Catálogo Rochas Ornamentadas*. Mota-Engil <http://rochasornamentais.mota-engil.pt/portfolio/>. Acedido a 16 de maio de 2016.
- [42] Composites, Amorim. *Catálogo Acousticork*. Corticeira Amorim http://www.amorimcorkcomposites.com/library.php/?cat=1&type=1&sort=1&lang_sort=0. Acedido a 17 de maio de 2016.
- [43] da Arquitetura, Coisas. <https://coisasdaarquitetura.wordpress.com/2010/09/06/tecnicas-construtivas-do-periodo-colonial-ii/>. Acedido a 10 de abril de 2016.
- [44] Na Internet, Engenharia Civil. *Asnas Tradicionais de Madeira*. <http://www.engenhariacivil.com/asnas-tradicionais-de-madeira>. Acedido a 9 de abril de 2016.
- [45] Portilame. *Madeira Lamelada Colada*. <http://www.portilame.com/pt/5-materiais/3-madeira-lamelada-colada-mlc/>. Acedido a 18 de maio de 2016.
- [46] Ceiling, Your Super. *Acabamento teto de gesso decorativo*. <http://super-ceiling.com/pt/pages/368086>. Acedido a 18 de maio de 2016.
- [47] Habitíssimo. *Como estucar um teto*. <http://projetos.habitissimo.com.br/projeto/como-estucar-o-teto>. Acedido a 18 de maio de 2016.
- [48] Gessos Especiais, Sival. *Declaração de desempenho nº 010 (DDP-010)*. Souto da Carpalhosa, 2013. Acedido a 30 de maio de 2016.

Anexo A – Boletins de Ensaio *In Situ*

ISOLAMENTO SONORO PADRONIZADO, SEGUNDO A NORMA ISO 16283-1

MEDIÇÕES DE ISOLAMENTO SONORO *IN SITU* ENTRE COMPARTIMENTOS

Localização: Rua do Paraíso da Foz

Data: 24/03/2016

Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção de medição: Paredes exteriores em alvenaria de pedra, rebocada e pintada; paredes interiores em tabique; pavimento em estrutura e revestimento de madeira (soalho com espessura de 3 cm, vigas com espessura de 35 cm e tarugos com espessura de 30 cm); teto em fasquiado com estuque.

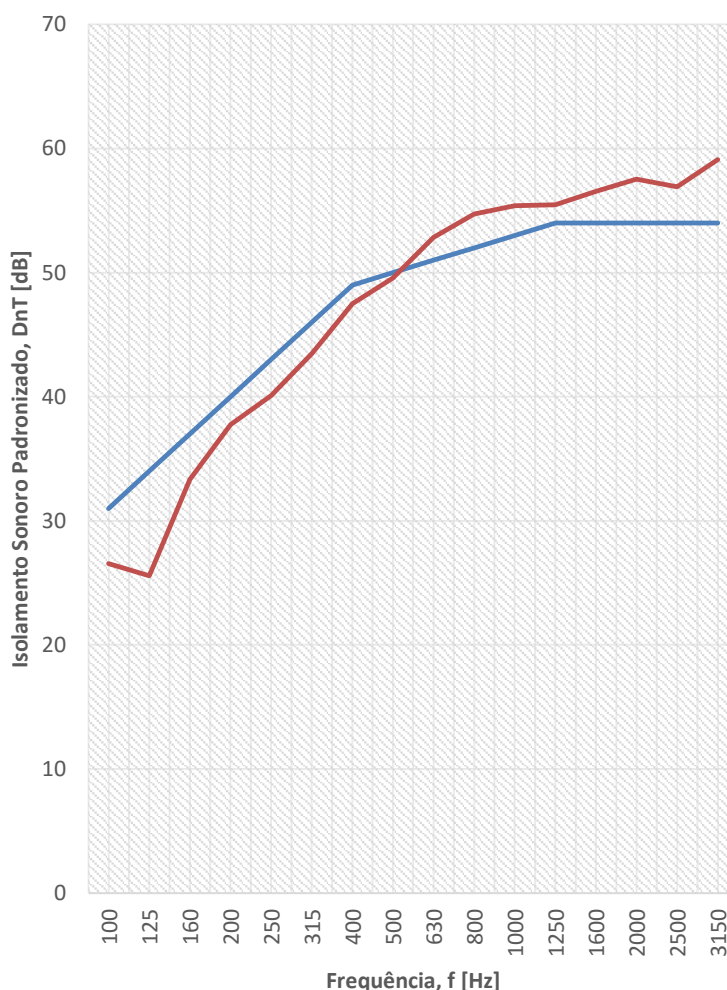
Área do elemento de separação: 14 m²

Volume do compartimento emissor: 43.4 m³

Volume do compartimento recetor: 62 m³

Frequência f [Hz]	D _{nT} (terço de oitava) [dB]
100	27,2
125	26,3
160	35,9
200	37,6
250	39,7
315	42,7
400	46,7
500	50,7
630	51,7
800	54,3
1000	55,8
1250	55,7
1600	55,7
2000	58,7
2500	57,0
3150	59,3

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-1)



Índice segundo a ISO 717-1: $D_{nT,w} (C; C_{tr}) = 50 (-3; -8) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições *in situ*, obtidas por meio do método de engenharia.

Boletim de Ensaio 02

NÍVEIS DE SONS DE PERCUSSÃO, PADRONIZADOS, CONFORME A NORMA ISO 16283-2

MEDIÇÃO, *IN SITU*, DO ISOLAMENTO SONORO DE PAVIMENTOS A SONS DE PERCUSSÃO

Localização: Rua do Paraíso da Foz

Data: 24/03/2016

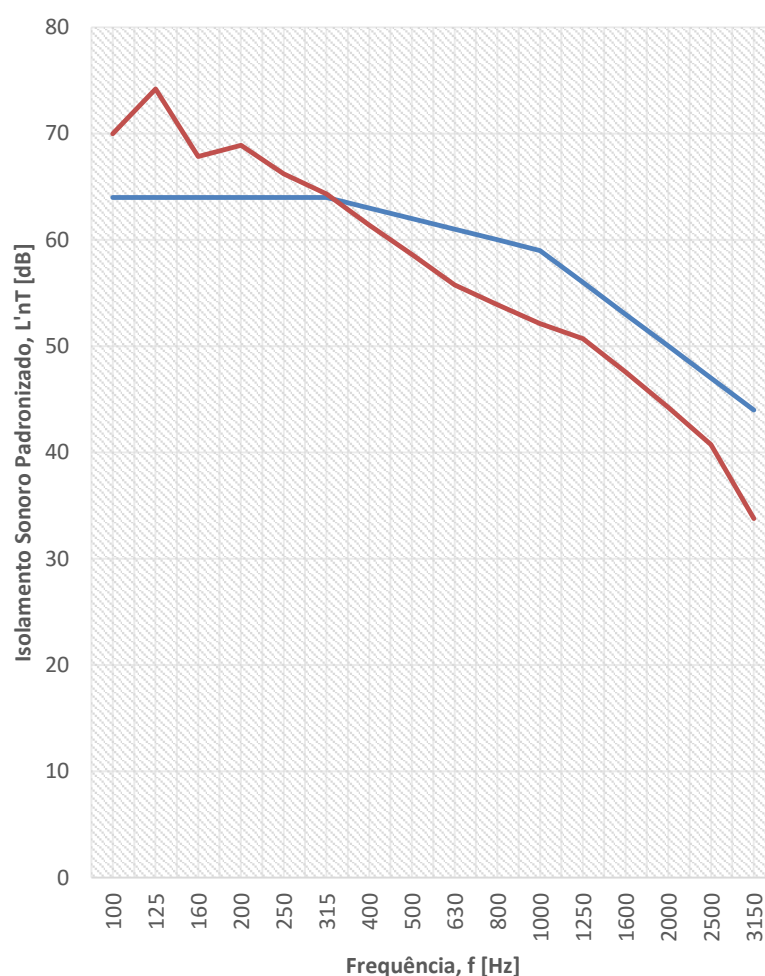
Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção de medição: Paredes exteriores em alvenaria de pedra, rebocada e pintada; paredes interiores em tabique; pavimento em estrutura e revestimento de madeira (soalho com espessura de 3 cm, vigas com espessura de 35 cm e tarugos com espessura de 30 cm); teto em fasquiado com estuque.

Área do elemento de separação: 14 m²

Volume do compartimento recetor: 62 m³

Frequência f [Hz]	L' _{nT} (terço de oitava) [dB]
100	70,6
125	74,1
160	67,2
200	68,6
250	65,8
315	65,2
400	62,0
500	58,9
630	56,5
800	54,2
1000	51,8
1250	50,6
1600	46,9
2000	43,4
2500	39,3
3150	32,8

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-2)



Índice segundo a ISO 717-2: $L'_{nT,w} (C_I) = 62 (+1) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições *in situ*, obtidas por meio do método de engenharia.

ISOLAMENTO SONORO PADRONIZADO, SEGUNDO A NORMA ISO 16283-1

MEDIÇÕES DE ISOLAMENTO SONORO *IN SITU* ENTRE COMPARTIMENTOS

Localização: Rua da Nora

Data: 08/04/2016

Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção de medição: Paredes exteriores em tijolo maciço de alvenaria (argamassa), rebocadas e pintadas alternadamente com o revestimento em cerâmicos; paredes interiores em tijolo maciço de alvenaria (argamassa) rebocadas e pintadas; pavimento em estrutura e revestimento de madeira (soalho com espessura de 2 cm, vigas com espessura de 12 cm e tarugos com espessura de 12 cm); teto revestido com madeira (placas de 1 cm de espessura com ligação concretizada a meio-fio, pregadas diretamente nas vigas de madeira).

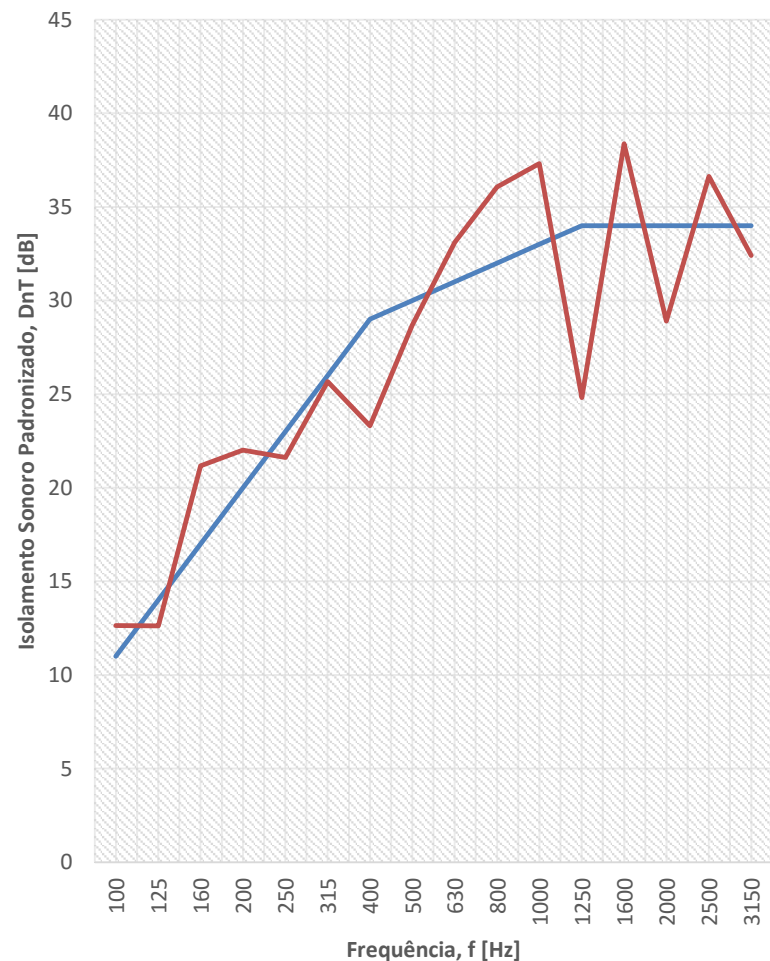
Área do elemento de separação: 7 m²

Volume do compartimento emissor: 14.7 m³

Volume do compartimento recetor: 17.64 m³

Frequência f [Hz]	D _{nT} (terço de oitava) [dB]
100	12,6
125	12,6
160	21,2
200	22,0
250	21,6
315	25,7
400	23,3
500	28,7
630	33,1
800	36,1
1000	37,3
1250	24,8
1600	38,4
2000	28,9
2500	36,6
3150	32,4

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-1)



Índice segundo a ISO 717-1: $D_{nT,w} (C; C_{tr}) = 30 (-2; -4) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições *in situ*, obtidas por meio do método de engenharia.

NÍVEIS DE SONS DE PERCUSSÃO, PADRONIZADOS, CONFORME A NORMA ISO 16283-2

MEDIÇÃO, *IN SITU*, DO ISOLAMENTO SONORO DE PAVIMENTOS A SONS DE PERCUSSÃO

Localização: Rua da Nora

Data: 08/04/2016

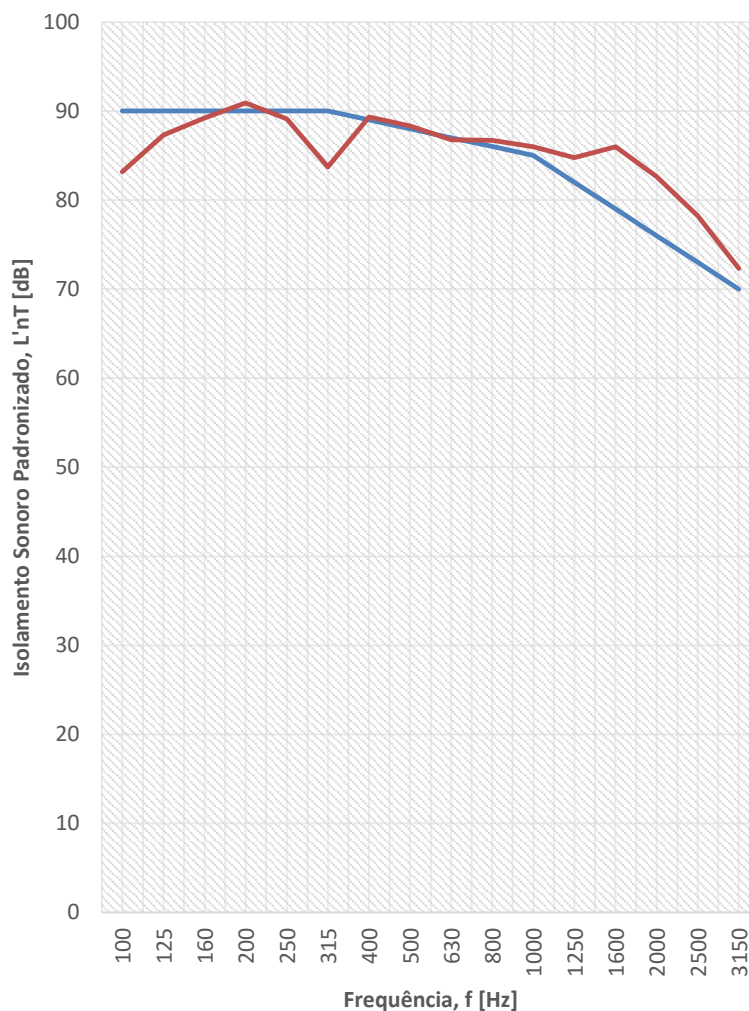
Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção de medição: Paredes exteriores em tijolo maciço de alvenaria (argamassa), rebocadas e pintadas alternadamente com o revestimento em cerâmicos; paredes interiores em tijolo maciço de alvenaria (argamassa) rebocadas e pintadas; pavimento em estrutura e revestimento de madeira (soalho com espessura de 2 cm, vigas com espessura de 12 cm e tarugos com espessura de 12 cm); teto revestido com madeira (placas de 1 cm de espessura com ligação concretizada a meio-fio, pregadas diretamente nas vigas de madeira).

Área do elemento de separação: 7 m²

Volume do compartimento recetor: 17.64 m³

Frequência f [Hz]	L' nT (terço de oitava) [dB]
100	83,2
125	87,3
160	89,2
200	90,9
250	89,1
315	83,7
400	89,3
500	88,3
630	86,8
800	86,7
1000	86,0
1250	84,8
1600	86,0
2000	82,6
2500	78,2
3150	72,3

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-2)



Índice segundo a ISO 717-2: $L'_{nT,w} (C_1) = 88 (-4) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições *in situ*, obtidas por meio do método de engenharia.

ISOLAMENTO SONORO PADRONIZADO, SEGUNDO A NORMA ISO 16283-1

MEDIÇÕES DE ISOLAMENTO SONORO *IN SITU* ENTRE COMPARTIMENTOS

Localização: Rua da Nora

Data: 08/04/2016

Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção de medição: Paredes exteriores em tijolo maciço de alvenaria (argamassa), rebocadas e pintadas alternadamente com o revestimento em cerâmicos; paredes interiores em tijolo maciço de alvenaria (argamassa) rebocadas e pintadas; pavimento em estrutura e revestimento de madeira (soalho com espessura de 2 cm, vigas com espessura de 12 cm e tarugos com espessura de 12 cm); teto revestido com madeira (placas de 1 cm de espessura com ligação concretizada a meio-fio, pregadas diretamente nas vigas de madeira). Pavimento revestido com carpete de 0.5 cm.

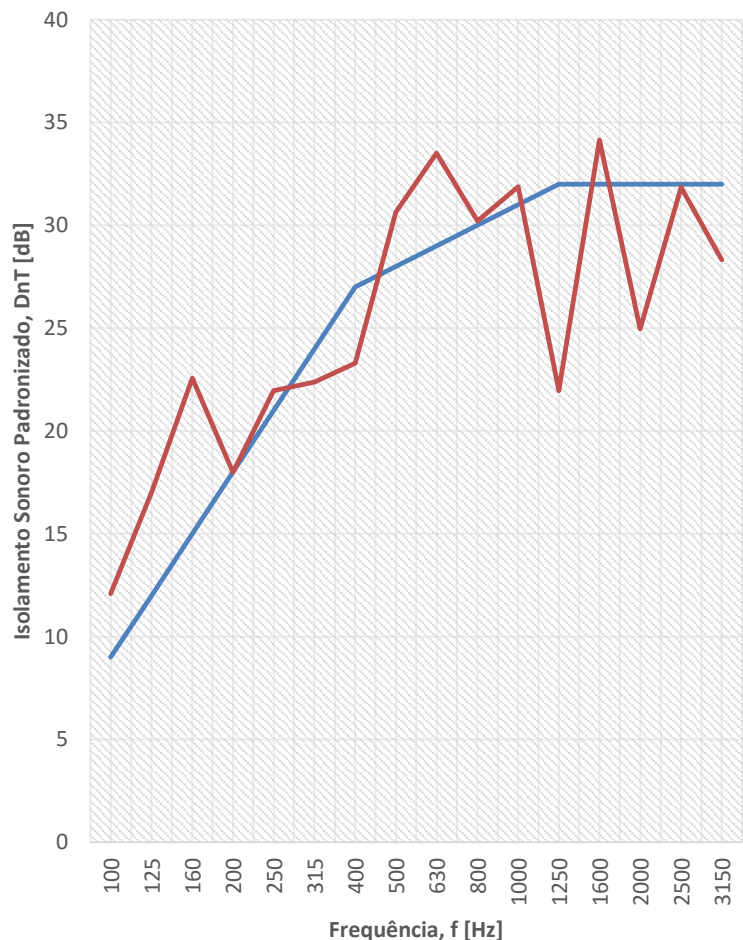
Área do elemento de separação: 10.85 m²

Volume do compartimento emissor: 22.785 m³

Volume do compartimento recetor: 22.785 m³

Frequência f [Hz]	D _{nT} (terço de oitava) [dB]
100	12,1
125	17,0
160	22,6
200	18,0
250	22,0
315	22,4
400	23,3
500	30,6
630	33,5
800	30,2
1000	31,9
1250	22,0
1600	34,1
2000	25,0
2500	31,8
3150	28,3

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-1)



Índice segundo a ISSO 717-1: $D_{nT, w} (C; C_{tr}) = 28 (-2; -3) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições *in situ*, obtidas por meio do método de engenharia.

NÍVEIS DE SONS DE PERCUSSÃO, PADRONIZADOS, CONFORME A NORMA ISO 16283-2

MEDIÇÃO, *IN SITU*, DO ISOLAMENTO SONORO DE PAVIMENTOS A SONS DE PERCUSSÃO

Localização: Rua da Nora

Data: 08/04/2016

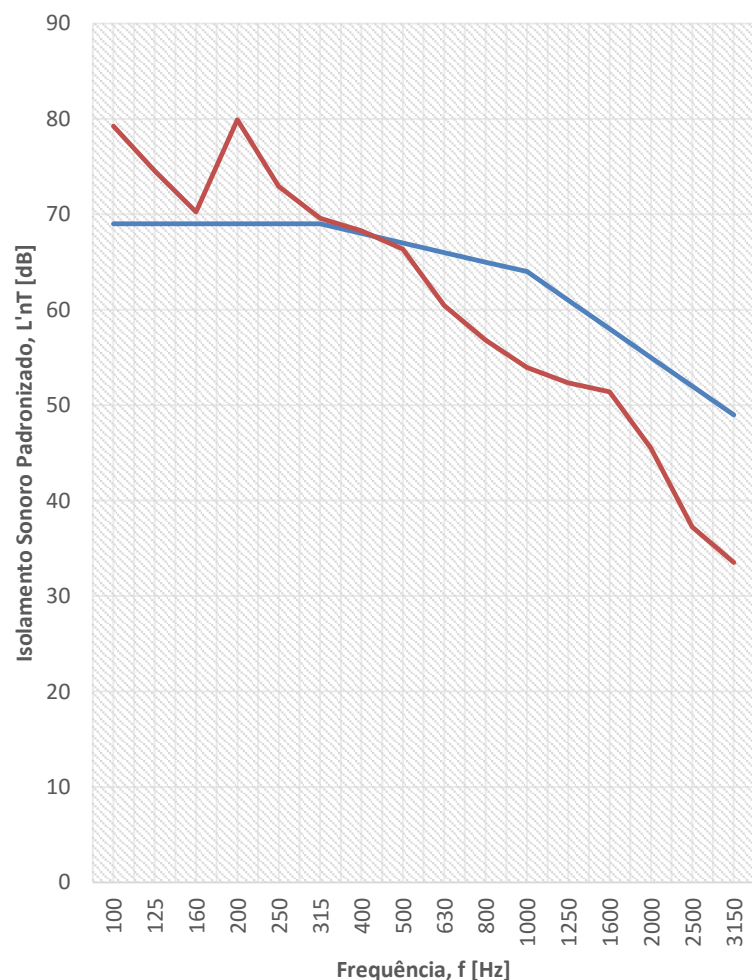
Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção de medição: Paredes exteriores em tijolo maciço de alvenaria (argamassa), rebocadas e pintadas alternadamente com o revestimento em cerâmicos; paredes interiores em tijolo maciço de alvenaria (argamassa) rebocadas e pintadas; pavimento em estrutura e revestimento de madeira (soalho com espessura de 2 cm, vigas com espessura de 12 cm e tarugos com espessura de 12 cm); teto revestido com madeira (placas de 1 cm de espessura com ligação concretizada a meio-fio, pregadas diretamente nas vigas de madeira). Pavimento revestido com carpete de 0.5 cm de espessura.

Área do elemento de separação: 10.85 m²

Volume do compartimento recetor: 22.785 m³

Frequência f [Hz]	L' _{nT} (terço de oitava) [dB]
100	79,2
125	74,5
160	70,2
200	79,9
250	72,9
315	69,6
400	68,3
500	66,4
630	60,5
800	56,8
1000	53,9
1250	52,4
1600	51,4
2000	45,5
2500	37,2
3150	33,5

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-2)



Índice segundo a ISO 717-2: $L'_{nT,w} (C_1) = 67 (+2) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições *in situ*, obtidas por meio do método de engenharia.

ISOLAMENTO SONORO PADRONIZADO, SEGUNDO A NORMA ISO 16283-1

MEDIÇÕES DE ISOLAMENTO SONORO *IN SITU* ENTRE COMPARTIMENTOS

Localização: Rua da Nora

Data: 08/04/2016

Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção de medição: Paredes exteriores em tijolo maciço de alvenaria (argamassa), rebocadas e pintadas alternadamente com o revestimento em cerâmicos; paredes interiores em tijolo maciço de alvenaria (argamassa) rebocadas e pintadas; pavimento em estrutura e revestimento de madeira (soalho com espessura de 2 cm, vigas com espessura de 12 cm e tarugos com espessura de 12 cm).

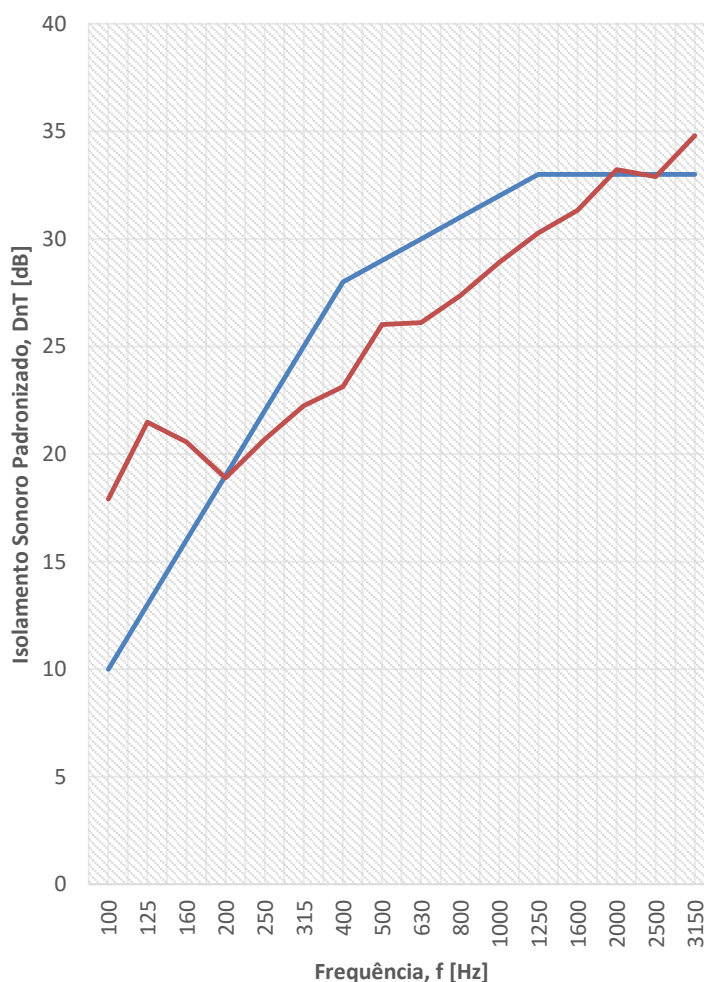
Área do elemento de separação: 7.5 m²

Volume do compartimento emissor: 15.75 m³

Volume do compartimento recetor: 40.95 m³

Frequência f [Hz]	D _{nT} (terço de oitava) [dB]
100	17,9
125	21,5
160	20,6
200	18,9
250	20,7
315	22,2
400	23,1
500	26,0
630	26,1
800	27,4
1000	28,9
1250	30,3
1600	31,3
2000	33,2
2500	32,9
3150	34,8

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-1)



Índice segundo a ISSO 717-1: $D_{nT, w} (C; C_{tr}) = 29 (-1; -3) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições *in situ*, obtidas por meio do método de engenharia.

NÍVEIS DE SONS DE PERCUSSÃO, PADRONIZADOS, CONFORME A NORMA ISO 16283-2

MEDIÇÃO, *IN SITU*, DO ISOLAMENTO SONORO DE PAVIMENTOS A SONS DE PERCUSSÃO

Localização: Rua da Nora

Data: 08/04/2016

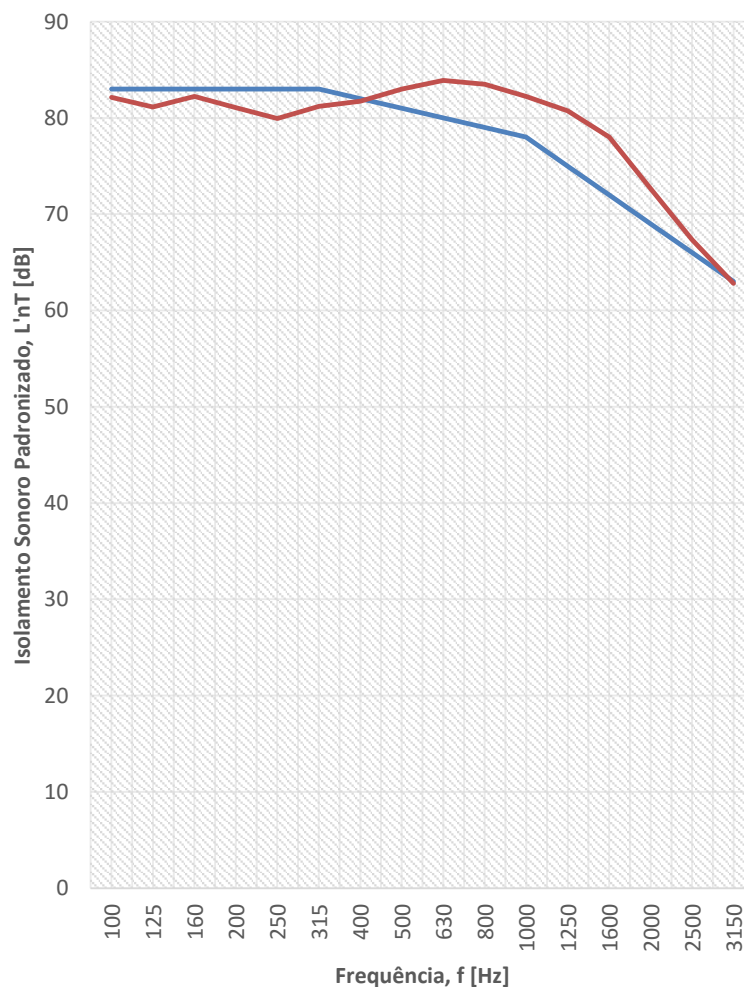
Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção de medição: Paredes exteriores em tijolo maciço de alvenaria (argamassa), rebocadas e pintadas alternadamente com o revestimento em cerâmicos; paredes interiores em tijolo maciço de alvenaria (argamassa) rebocadas e pintadas; pavimento em estrutura e revestimento de madeira (soalho com espessura de 2 cm, vigas com espessura de 12 cm e tarugos com espessura de 12 cm).

Área do elemento de separação: 7.5 m²

Volume do compartimento recetor: 40.95 m³

Frequência f [Hz]	L' _{nT} (terço de oitava) [dB]
100	82,1
125	81,1
160	82,2
200	81,1
250	79,9
315	81,2
400	81,7
500	83,0
630	83,9
800	83,5
1000	82,2
1250	80,7
1600	78,0
2000	72,7
2500	67,3
3150	62,8

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-2)



Índice segundo a ISO 717-2: $L'_{nT, w} (C_I) = 81 (-3) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições *in situ*, obtidas por meio do método de engenharia.

ISOLAMENTO SONORO PADRONIZADO, SEGUNDO A NORMA ISO 16283-1

MEDIÇÕES DE ISOLAMENTO SONORO *IN SITU* ENTRE COMPARTIMENTOS

Localização: Rua da Nora

Data: 08/04/2016

Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção de medição: Paredes exteriores em tijolo maciço de alvenaria (argamassa), rebocadas e pintadas alternadamente com o revestimento em cerâmicos; paredes interiores em tijolo maciço de alvenaria (argamassa) rebocadas e pintadas; pavimento em estrutura e revestimento de madeira (soalho com espessura de 2 cm, vigas com espessura de 12 cm e tarugos com espessura de 12 cm).

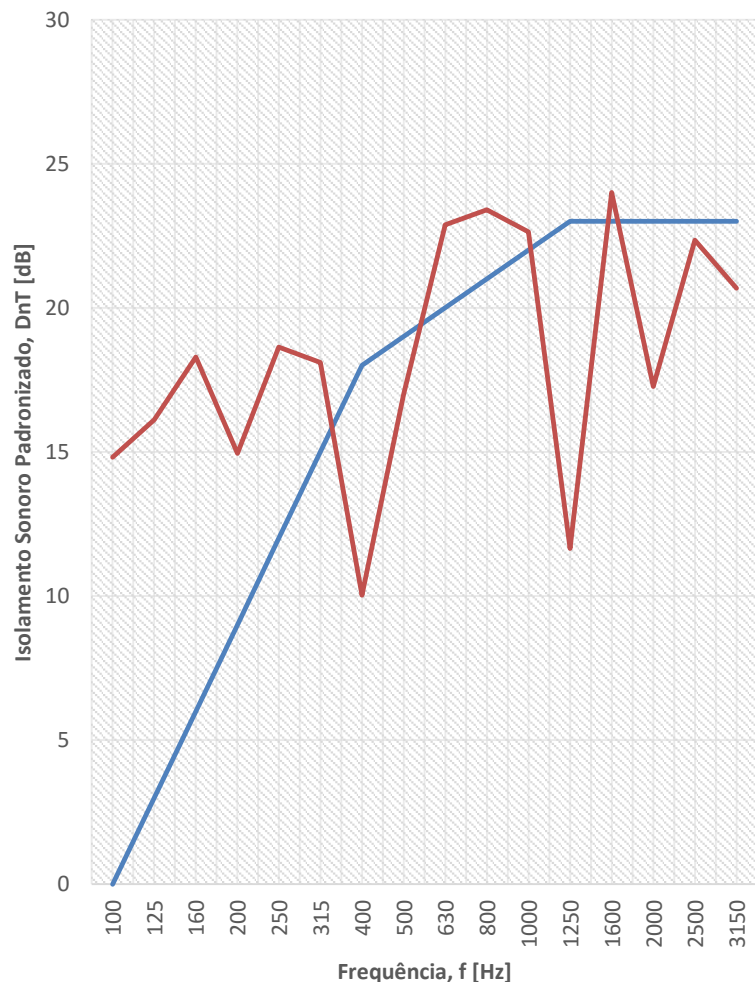
Área do elemento de separação: 7.75 m²

Volume do compartimento emissor: 16.275 m³

Volume do compartimento recetor: 40.95 m³

Frequência f [Hz]	D _{nT} (terço de oitava) [dB]
100	14,8
125	16,1
160	18,3
200	15,0
250	18,6
315	18,1
400	10,0
500	17,0
630	22,9
800	23,4
1000	22,6
1250	11,7
1600	24,0
2000	17,3
2500	22,4
3150	20,7

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-1)



Índice segundo a ISO 717-1: $D_{nT, w} (C; C_{tr}) = 19 (-2; -2) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições *in situ*, obtidas por meio do método de engenharia.

NÍVEIS DE SONS DE PERCUSSÃO, PADRONIZADOS, CONFORME A NORMA ISO 16283-2

MEDIÇÃO, *IN SITU*, DO ISOLAMENTO SONORO DE PAVIMENTOS A SONS DE PERCUSSÃO

Localização: Rua da Nora

Data: 08/04/2016

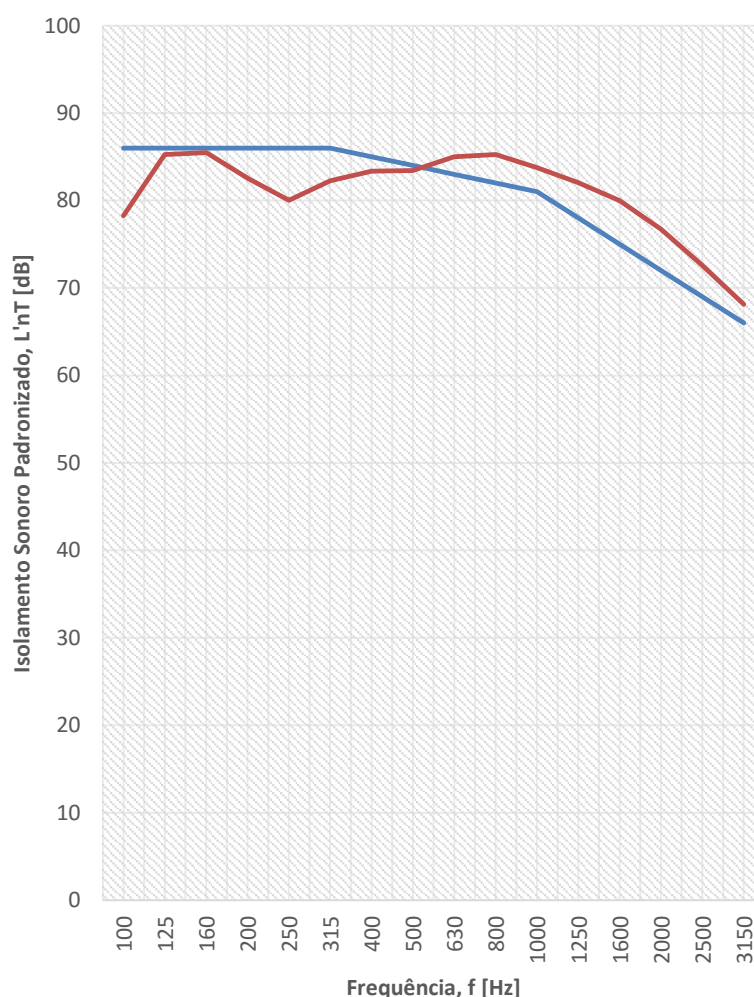
Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção de medição: Paredes exteriores em tijolo maciço de alvenaria (argamassa), rebocadas e pintadas alternadamente com o revestimento em cerâmicos; paredes interiores em tijolo maciço de alvenaria (argamassa) rebocadas e pintadas; pavimento em estrutura e revestimento de madeira (soalho com espessura de 2 cm, vigas com espessura de 12 cm e tarugos com espessura de 12 cm).

Área do elemento de separação: 7.75 m²

Volume do compartimento recetor: 40.95 m³

Frequência f [Hz]	L' _{nT} (terço de oitava) [dB]
100	78,3
125	85,3
160	85,5
200	82,6
250	80,0
315	82,3
400	83,4
500	83,4
630	85,0
800	85,3
1000	83,8
1250	82,1
1600	80,0
2000	76,7
2500	72,6
3150	68,1

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-2)



Índice segundo a ISO 717-2: $L'_{nT,w} (C_I) = 84 (-4) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições *in situ*, obtidas por meio do método de engenharia.

Boletim de Ensaio 11

ISOLAMENTO SONORO PADRONIZADO, SEGUNDO A NORMA ISO 16283-1

MEDIÇÕES DE ISOLAMENTO SONORO *IN SITU* ENTRE COMPARTIMENTOS

Localização: Rua 31 de Janeiro

Data: 09/04/2016

Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção de medição: Paredes exteriores em alvenaria de pedra, rebocadas e pintadas; paredes interiores em alvenaria de pedra, rebocadas e pintadas; pavimento em estrutura e revestimento de madeira (soalho com espessura de 2.5 cm, vigas com espessura de 25 cm e tarugos com espessura de 15 cm); teto revestido com madeira (placas de 1.2 cm de espessura com ligação concretizada a meio-fio, pregadas em régua de madeira). Pavimento revestido com alcatifa de 3 mm de espessura.

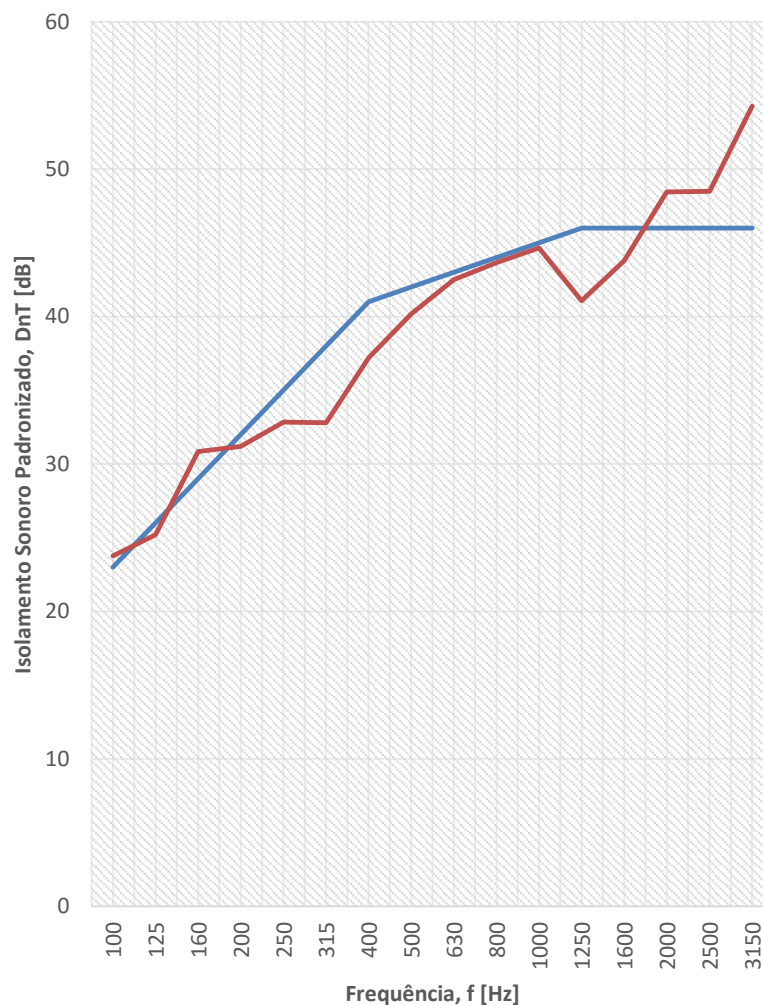
Área do elemento de separação: 24.75 m²

Volume do compartimento emissor: 61.88 m³

Volume do compartimento recetor: 68.75 m³

Frequência f [Hz]	D _{nT} (terço de oitava) [dB]
100	23,8
125	25,2
160	30,8
200	31,2
250	32,8
315	32,8
400	37,2
500	40,2
630	42,5
800	43,6
1000	44,7
1250	41,1
1600	43,8
2000	48,4
2500	48,5
3150	54,3

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-1)



Índice segundo a ISO 717-1: $D_{nT,w} (C; C_{tr}) = 42 (-1; -5) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições *in situ*, obtidas por meio do método de engenharia.

Boletim de Ensaio 12

NÍVEIS DE SONS DE PERCUSSÃO, PADRONIZADOS, CONFORME A NORMA ISO 16283-2

MEDIÇÃO, *IN SITU*, DO ISOLAMENTO SONORO DE PAVIMENTOS A SONS DE PERCUSSÃO

Localização: Rua 31 de Janeiro

Data: 09/04/2016

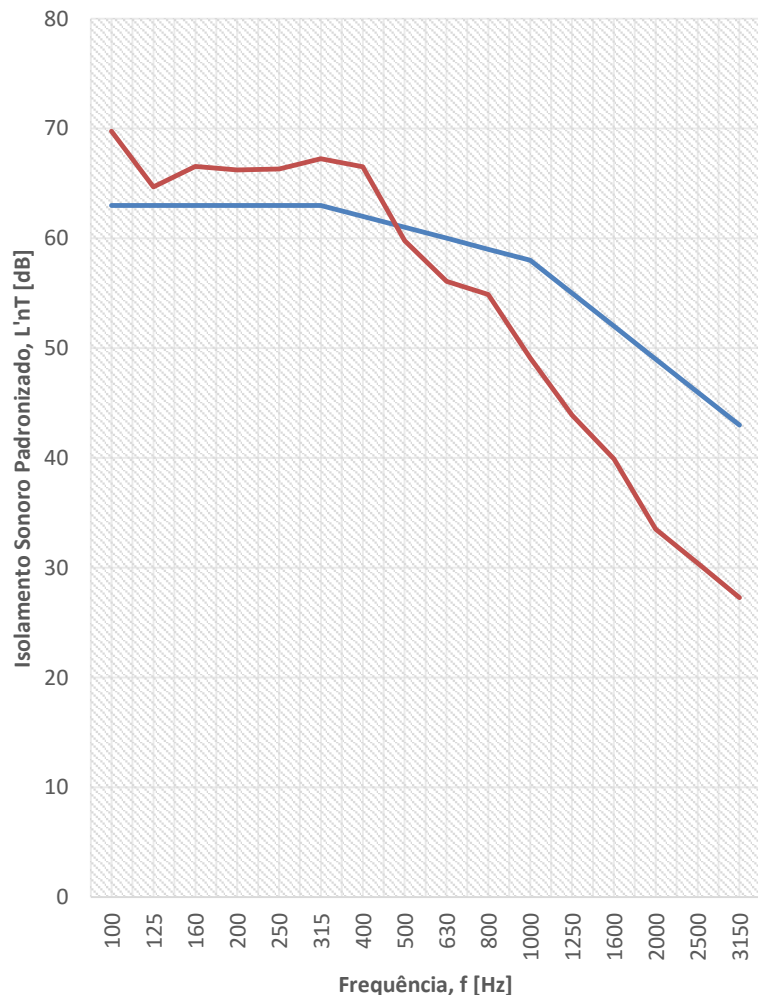
Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção de medição: Paredes exteriores em alvenaria de pedra, rebocadas e pintadas; paredes interiores em alvenaria de pedra, rebocadas e pintadas; pavimento em estrutura e revestimento de madeira (soalho com espessura de 2.5 cm, vigas com espessura de 25 cm e tarugos com espessura de 15 cm); teto revestido com madeira (placas de 1.2 cm de espessura com ligação concretizada a meio-fio, pregadas em régua de madeira). Pavimento revestido com alcatifa de 3 mm de espessura.

Área do elemento de separação: 24.75 m²

Volume do compartimento recetor: 68.75 m³

Frequência f [Hz]	L' nT (terço de oitava) [dB]
100	69,8
125	64,7
160	66,5
200	66,2
250	66,3
315	67,2
400	66,5
500	59,8
630	56,1
800	54,9
1000	49,1
1250	43,9
1600	39,9
2000	33,5
2500	30,4
3150	27,3

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-2)



Índice segundo a ISO 717-2: $L'_{nT,w} (C_1) = 61 (0) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições *in situ*, obtidas por meio do método de engenharia.

ISOLAMENTO SONORO PADRONIZADO, SEGUNDO A NORMA ISO 16283-1

MEDIÇÕES DE ISOLAMENTO SONORO *IN SITU* ENTRE COMPARTIMENTOS

Localização: Rua 31 de Janeiro

Data: 11/04/2016

Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção de medição: Paredes exteriores em alvenaria de pedra, rebocadas e pintadas alternadamente com revestimento em cerâmicos; paredes interiores em tabique simples; pavimento em estrutura e revestimento de madeira (soalho com espessura de 3 cm, vigas com espessura de 20 cm e tarugos com espessura de 15 cm); teto em fasquiado com estuque.

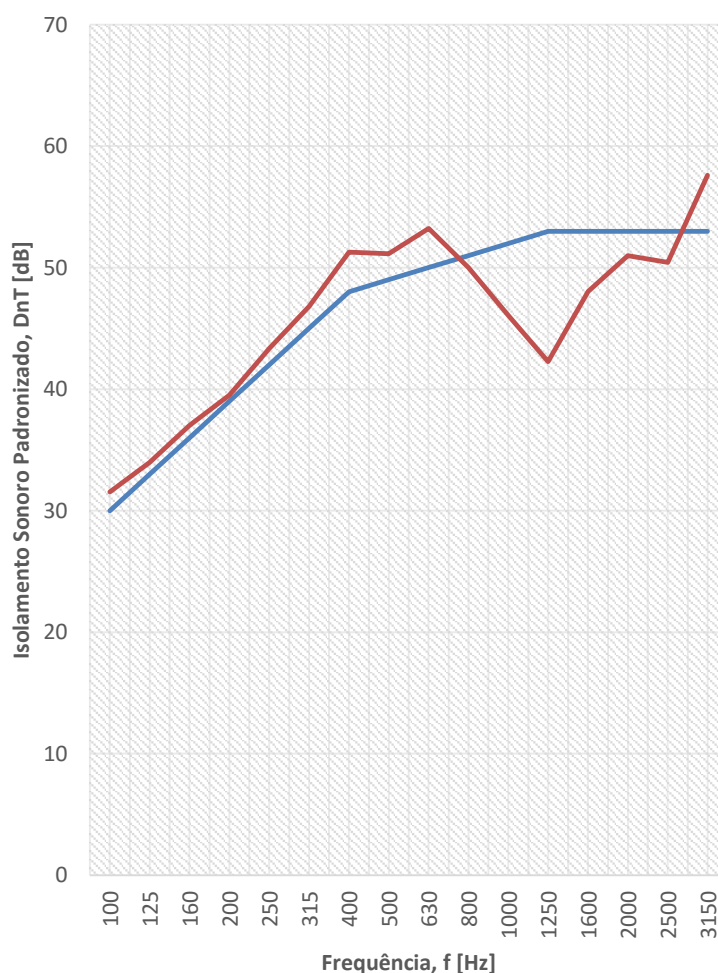
Área do elemento de separação: 10.58 m²

Volume do compartimento emissor: 22.22 m³

Volume do compartimento recetor: 25.20 m³

Frequência f [Hz]	D _{nT} (terço de oitava) [dB]
100	31,5
125	34,0
160	37,0
200	39,5
250	43,3
315	46,8
400	51,3
500	51,2
630	53,2
800	50,0
1000	46,1
1250	42,3
1600	48,0
2000	51,0
2500	50,4
3150	57,6

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-1)



Índice segundo a ISO 717-1: $D_{nT, w} (C; C_{tr}) = 49 (-2; -5) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições *in situ*, obtidas por meio do método de engenharia.

NÍVEIS DE SONS DE PERCUSSÃO, PADRONIZADOS, CONFORME A NORMA ISO 16283-2

MEDIÇÃO, *IN SITU*, DO ISOLAMENTO SONORO DE PAVIMENTOS A SONS DE PERCUSSÃO

Localização: Rua 31 de Janeiro

Data: 11/04/2016

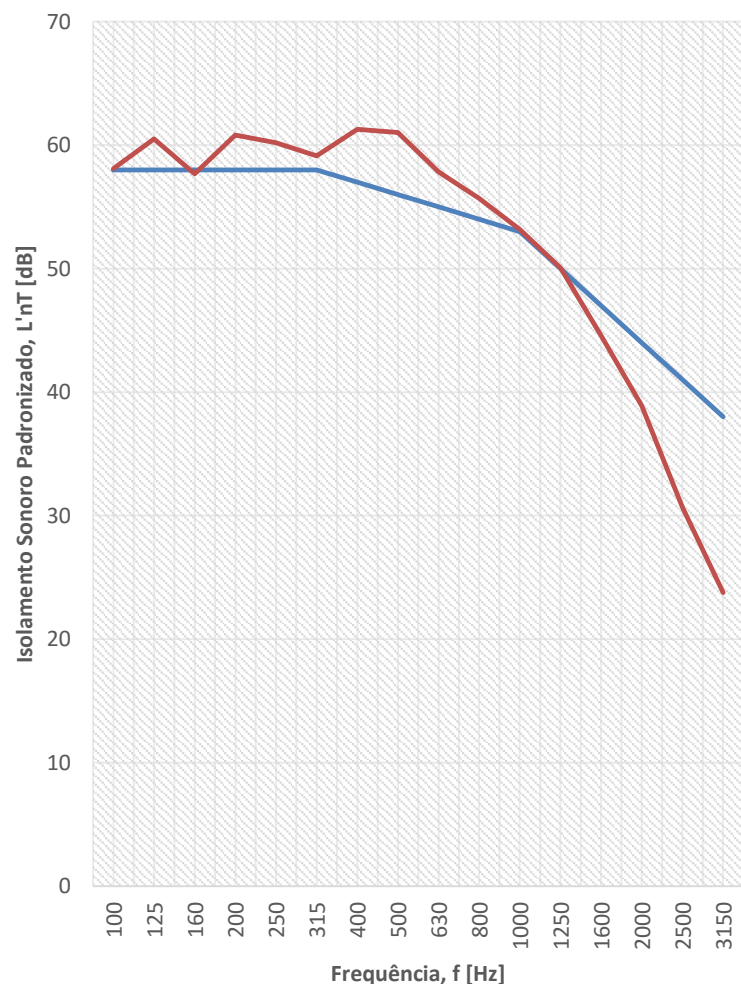
Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção de medição: Paredes exteriores em alvenaria de pedra, rebocadas e pintadas alternadamente com revestimento em cerâmicos; paredes interiores em tabique simples; pavimento em estrutura e revestimento de madeira (soalho com espessura de 3 cm, vigas com espessura de 20 cm e tarugos com espessura de 15 cm); teto em fasquiado com estuque.

Área do elemento de separação: 10.58 m²

Volume do compartimento recetor: 25.20 m³

Frequência f [Hz]	L' _{nT} (terço de oitava) [dB]
100	58,1
125	60,5
160	57,7
200	60,8
250	60,2
315	59,1
400	61,3
500	61,0
630	57,8
800	55,7
1000	53,2
1250	50,1
1600	44,6
2000	38,9
2500	30,7
3150	23,8

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-2)



Índice segundo a ISO 717-2: $L'_{nT,w} (C_I) = 56 (-1) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições *in situ*, obtidas por meio do método de engenharia.

ISOLAMENTO SONORO PADRONIZADO, SEGUNDO A NORMA ISO 16283-1

MEDIÇÕES DE ISOLAMENTO SONORO *IN SITU* ENTRE COMPARTIMENTOS

Localização: Rua 31 de Janeiro

Data: 12/04/2016

Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção de medição: Paredes exteriores em alvenaria de pedra, rebocadas e pintadas; paredes interiores em tabique simples; pavimento em estrutura e revestimento de madeira (soalho com espessura de 2 cm, vigas com espessura de 15 cm e tarugos com espessura de 10 cm); teto em fasquiado com estuque. Pavimento com revestimento em alcatifa de 2 mm de espessura. Teto com revestimento adicional em gesso cartonado, proporcionando uma dupla caixa de ar.

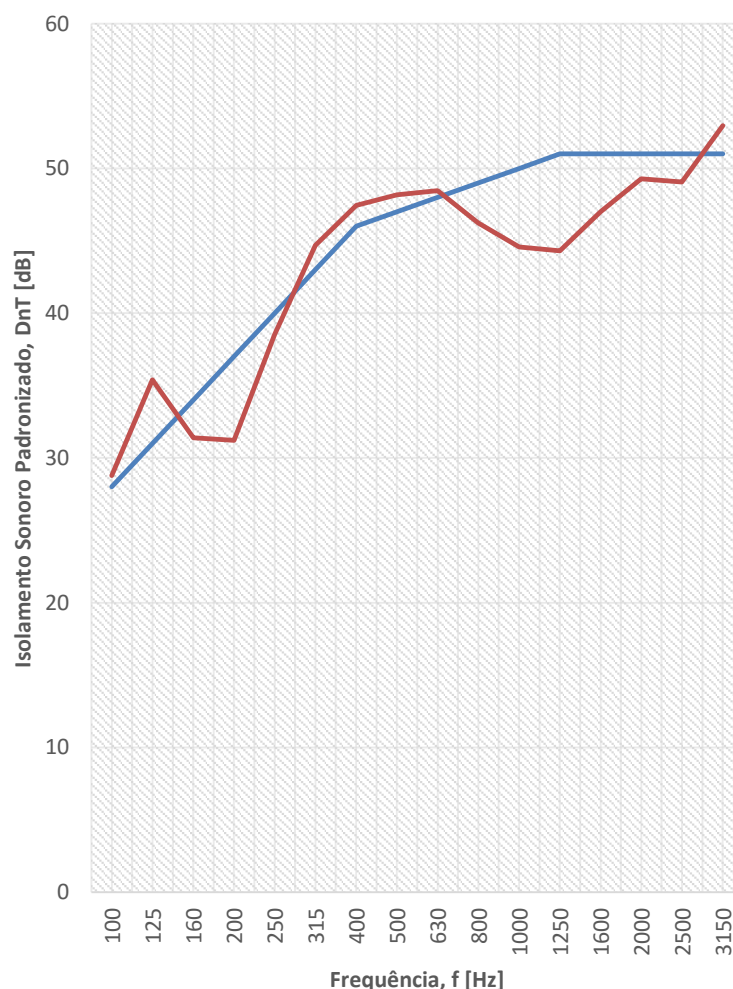
Área do elemento de separação: 5.75 m²

Volume do compartimento emissor: 14.09 m³

Volume do compartimento recetor: 99.23 m³

Frequência f [Hz]	D _{nT} (terço de oitava) [dB]
100	28,8
125	35,4
160	31,4
200	31,2
250	38,5
315	44,7
400	47,5
500	48,2
630	48,5
800	46,2
1000	44,6
1250	44,3
1600	47,0
2000	49,3
2500	49,1
3150	52,9

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-1)



Índice segundo a ISO 717-1: $D_{nT,w} (C; C_{tr}) = 47 (-2; -6) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições *in situ*, obtidas por meio do método de engenharia.

NÍVEIS DE SONS DE PERCUSSÃO, PADRONIZADOS, CONFORME A NORMA ISO 16283-2

MEDIÇÃO, *IN SITU*, DO ISOLAMENTO SONORO DE PAVIMENTOS A SONS DE PERCUSSÃO

Localização: Rua 31 de Janeiro

Data: 12/04/2016

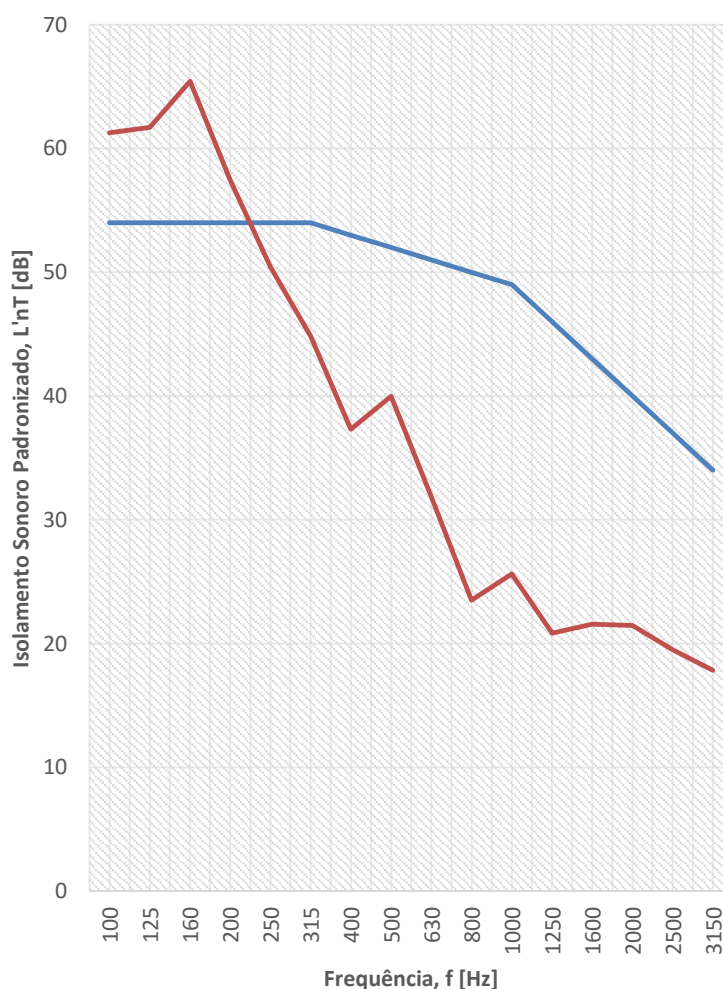
Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção de medição: Paredes exteriores em alvenaria de pedra, rebocadas e pintadas; paredes interiores em tabique simples; pavimento em estrutura e revestimento de madeira (soalho com espessura de 2 cm, vigas com espessura de 15 cm e tarugos com espessura de 10 cm); teto em fasquiado com estuque. Pavimento com revestimento em alcatifa de 2 mm de espessura. Teto com revestimento adicional em gesso cartonado, proporcionando uma dupla caixa de ar.

Área do elemento de separação: 5.75 m²

Volume do compartimento recetor: 99.23 m³

Frequência f [Hz]	L' nT (terço de oitava) [dB]
100	61,3
125	61,7
160	65,4
200	57,5
250	50,4
315	44,8
400	37,3
500	40,0
630	31,8
800	23,5
1000	25,6
1250	20,8
1600	21,6
2000	21,5
2500	19,5
3150	17,8

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-2)



Índice segundo a ISO 717-2: $L'_{nT,w}(C_I) = 52 (+1) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições *in situ*, obtidas por meio do método de engenharia.

ISOLAMENTO SONORO PADRONIZADO, SEGUNDO A NORMA ISO 16283-1

MEDIÇÕES DE ISOLAMENTO SONORO *IN SITU* ENTRE COMPARTIMENTOS

Localização: Rua 31 de Janeiro

Data: 13/04/2016

Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção de medição: Paredes exteriores em alvenaria de pedra, rebocadas e pintadas; paredes interiores em tabique simples; pavimento em estrutura e revestimento de madeira (soalho com espessura de 2 cm, vigas com espessura de 20 cm e tarugos com espessura de 10 cm); teto em fasquiado com estuque.

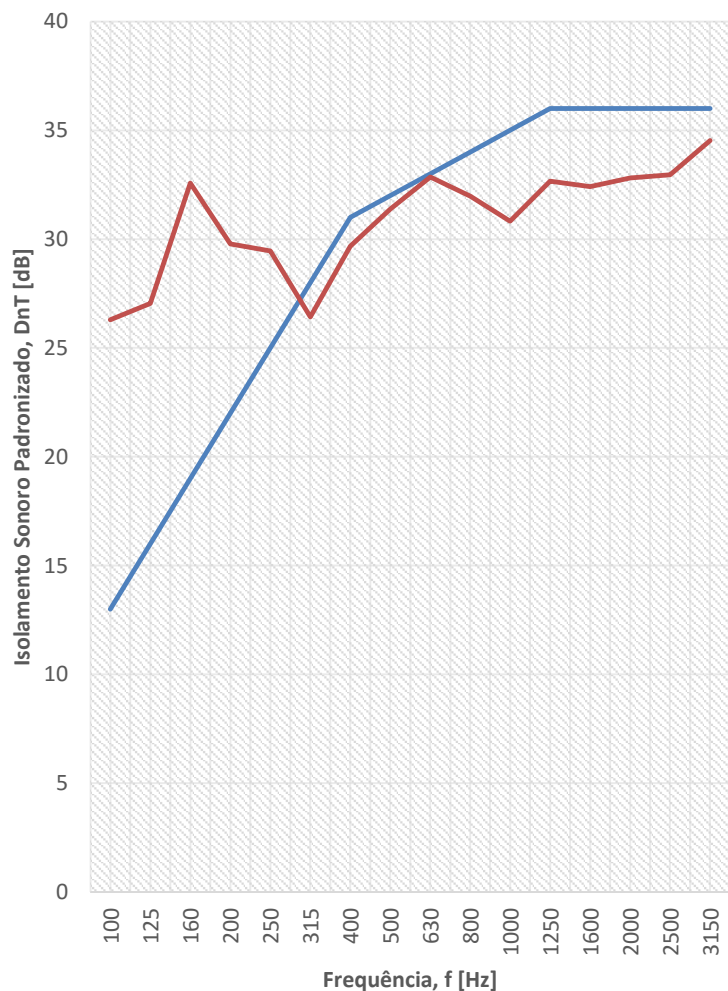
Área do elemento de separação: 15.75 m²

Volume do compartimento emissor: 36.23 m³

Volume do compartimento recetor: 36.23 m³

Frequência f [Hz]	D _{nT} (terço de oitava) [dB]
100	26,3
125	27,1
160	32,6
200	29,8
250	29,5
315	26,4
400	29,7
500	31,4
630	32,9
800	32,0
1000	30,8
1250	32,7
1600	32,4
2000	32,8
2500	33,0
3150	34,5

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-1)



Índice segundo a ISO 717-1: $D_{nT,w} (C; C_{tr}) = 32 (0; -1) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições *in situ*, obtidas por meio do método de engenharia.

NÍVEIS DE SONS DE PERCUSSÃO, PADRONIZADOS, CONFORME A NORMA ISO 16283-2

MEDIÇÃO, *IN SITU*, DO ISOLAMENTO SONORO DE PAVIMENTOS A SONS DE PERCUSSÃO

Localização: Rua 31 de Janeiro

Data: 13/04/2016

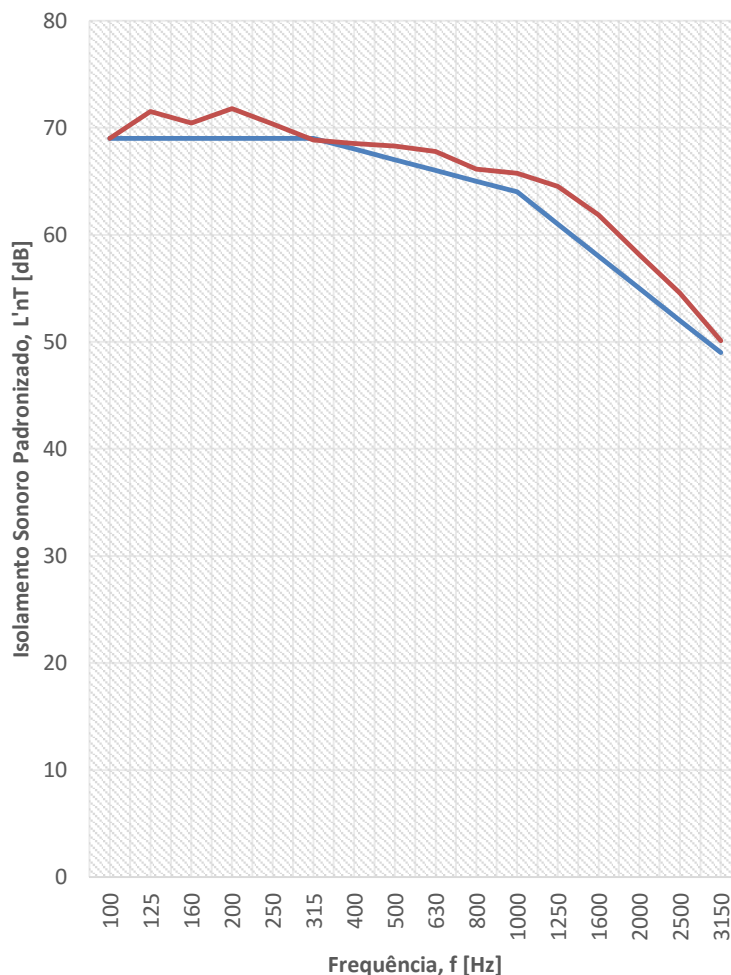
Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção de medição: Paredes exteriores em alvenaria de pedra, rebocadas e pintadas; paredes interiores em tabique simples; pavimento em estrutura e revestimento de madeira (soalho com espessura de 2 cm, vigas com espessura de 20 cm e tarugos com espessura de 10 cm); teto em fasquiado com estuque.

Área do elemento de separação: 15.75 m²

Volume do compartimento recetor: 36.23 m³

Frequência f [Hz]	L' _{nT} (terço de oitava) [dB]
100	69,0
125	71,5
160	70,4
200	71,8
250	70,3
315	68,9
400	68,5
500	68,3
630	67,8
800	66,1
1000	65,7
1250	64,5
1600	61,9
2000	58,1
2500	54,5
3150	50,1

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-2)



Índice segundo a ISO 717-2: $L'_{nT,w} (C_1) = 67 (-2)$ dB

Determinação baseada nas medições *in situ*, obtidas por meio do método de engenharia.

ISOLAMENTO SONORO PADRONIZADO, SEGUNDO A NORMA ISO 16283-1

MEDIÇÕES DE ISOLAMENTO SONORO *IN SITU* ENTRE COMPARTIMENTOS

Localização: Estrada Nacional Nº 15

Data: 18/04/2016

Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção de medição: Paredes exteriores em alvenaria de pedra; paredes interiores em tabique simples; pavimento em estrutura e revestimento de madeira (soalho com espessura de 2.5 cm, vigas com espessura de 20 cm e tarugos com espessura de 15 cm); teto em painéis absorventes com fasquiado e estuque no tardo. Pavimento com revestimento em alcatifa de 2 mm de espessura.

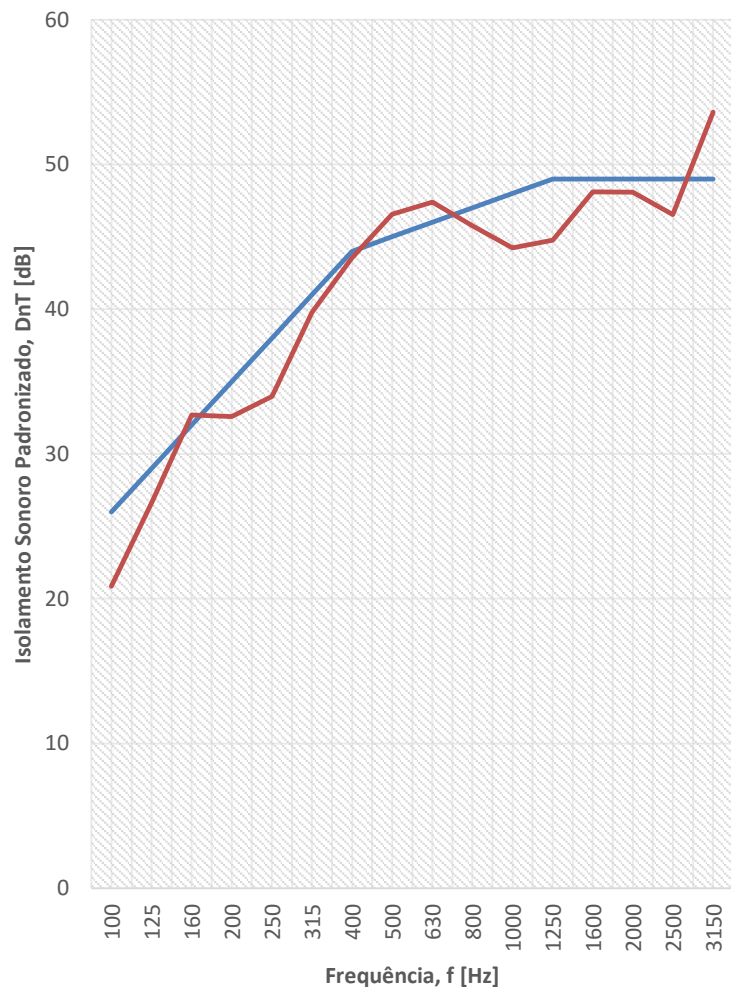
Área do elemento de separação: 16.5 m²

Volume do compartimento emissor: 41.25 m³

Volume do compartimento recetor: 100.00 m³

Frequência f [Hz]	D _{nT} (terço de oitava) [dB]
100	20,8
125	26,6
160	32,7
200	32,6
250	34,0
315	39,8
400	43,5
500	46,6
630	47,4
800	45,8
1000	44,2
1250	44,8
1600	48,1
2000	48,1
2500	46,5
3150	53,6

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-1)



Índice segundo a ISO 717-1: $D_{nT,w} (C; C_{tr}) = 45 (-2; -7) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições *in situ*, obtidas por meio do método de engenharia.

NÍVEIS DE SONS DE PERCUSSÃO, PADRONIZADOS, CONFORME A NORMA ISO 16283-2

MEDIÇÃO, *IN SITU*, DO ISOLAMENTO SONORO DE PAVIMENTOS A SONS DE PERCUSSÃO

Localização: Estrada Nacional Nº 15

Data: 18/04/2016

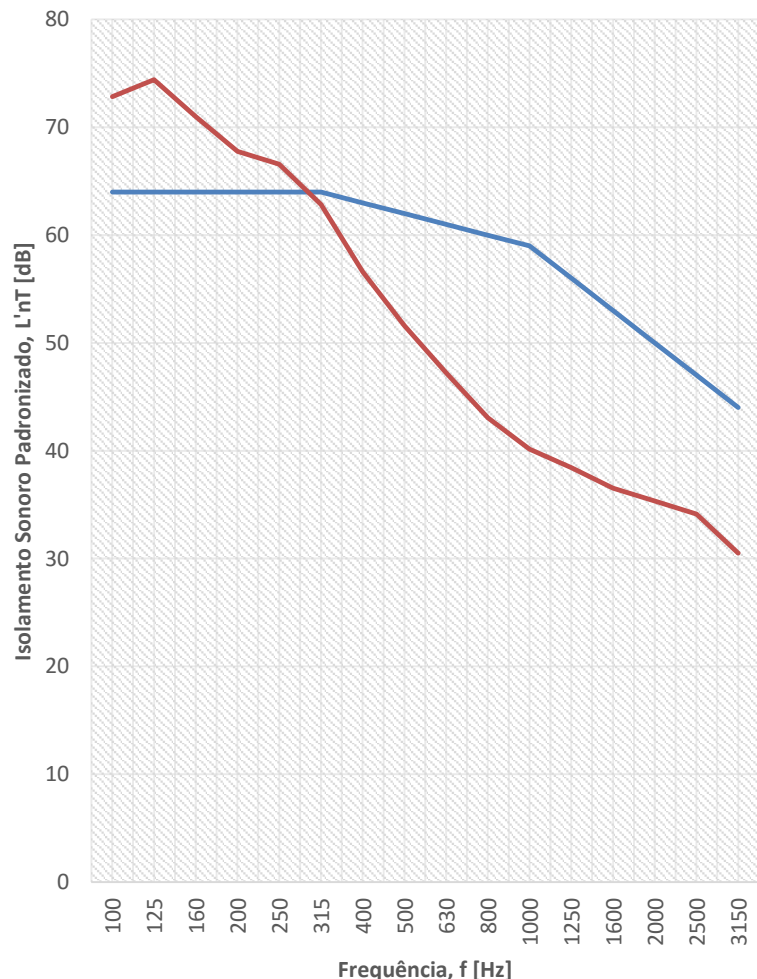
Descrição e identificação do edifício, da configuração do ensaio, da direção de medição: Paredes exteriores em alvenaria de pedra; paredes interiores em tabique simples; pavimento em estrutura e revestimento de madeira (soalho com espessura de 2.5 cm, vigas com espessura de 20 cm e tarugos com espessura de 15 cm); teto em painéis absorventes com fasquiado e estuque no tardo. Pavimento com revestimento em alcatifa de 2 mm de espessura.

Área do elemento de separação: 16.5 m²

Volume do compartimento recetor: 100 m³

Frequência f [Hz]	L' _{nT} (terço de oitava) [dB]
100	72,9
125	74,4
160	71,0
200	67,8
250	66,6
315	62,8
400	56,6
500	51,6
630	47,2
800	43,1
1000	40,2
1250	38,4
1600	36,5
2000	35,3
2500	34,1
3150	30,5

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-2)



Índice segundo a ISO 717-2: $L'_{nT,w} (C_1) = 62 (+2) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições *in situ*, obtidas por meio do método de engenharia.

Anexo B – Boletins de Ensaio Laboratoriais

Boletim de Ensaio A1

REDUÇÃO SONORA, SEGUNDO A NORMA ISO 10140 (TODAS AS PARTES)

MEDIÇÕES LABORATORIAIS DE REDUÇÃO SONORA PROPORCIONADO POR PAVIMENTOS DE MADEIRA

Localização: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Data: 17/05/2016

Área do elemento de separação: 14.56 m²

Câmara reverberante emissora: E2

Volume do compartimento emissor: 74 m³

Câmara reverberante recetora: R1

Volume do compartimento recetor: 211 m³

Referência do ensaio: B [E5]

Descrição e identificação do pavimento, da configuração do ensaio, da direção de medição:

Medição vertical de E2 para R1. Pavimento em estrutura e revestimento de madeira, soalho com espessura de 3 cm, vigas com espessura de 11 cm e 8 cm de largura, revestidas superiormente de modo contínuo com apoio resiliente de densidade 200 kg/m³.

Massa superficial do pavimento: 68.2 kg/m²

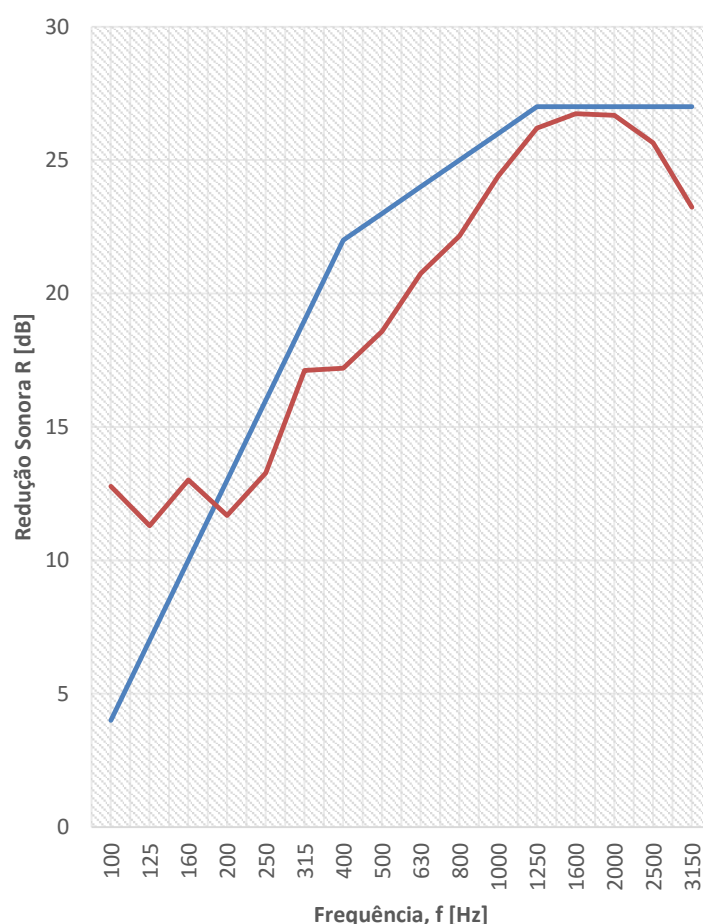
Tempo de cura: -

Temperatura do ar: 24 °C

Humidade do ar: 39 %

Frequência f [Hz]	R 1/3 oitava [dB]
100	12,8
125	11,3
160	13,0
200	11,7
250	13,3
315	17,1
400	17,2
500	18,6
630	20,7
800	22,2
1000	24,4
1250	26,2
1600	26,7
2000	26,7
2500	25,6
3150	23,2

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-1)



Índice segundo a ISO 717-1: $R_{w} (C; C_{tr}) = 23 (-1; -3) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições em laboratório, obtidas por meio do método de engenharia.

Boletim de Ensaio A2

ISOLAMENTO SONORO NORMALIZADO, SEGUNDO A NORMA ISO 10140 (TODAS AS PARTES)

MEDIÇÕES LABORATORIAIS DE ISOLAMENTO SONORO PROPORCIONADO POR PAVIMENTOS DE MADEIRA

Localização: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Data: 17/05/2016

Área do elemento de separação: 14.56 m²

Câmara reverberante emissora: E2

Volume do compartimento emissor: 74 m³

Câmara reverberante recetora: R1

Volume do compartimento recetor: 211 m³

Referência do ensaio: B [E5]

Descrição e identificação do pavimento, da configuração do ensaio, da direção de medição:

Medição vertical de E2 para R1. Pavimento em estrutura e revestimento de madeira, soalho com espessura de 3 cm, vigas com espessura de 11 cm e 8 cm de largura, revestidas superiormente de modo contínuo com apoio resiliente de densidade 200 kg/m³.

Massa superficial do pavimento: 68.2 kg/m²

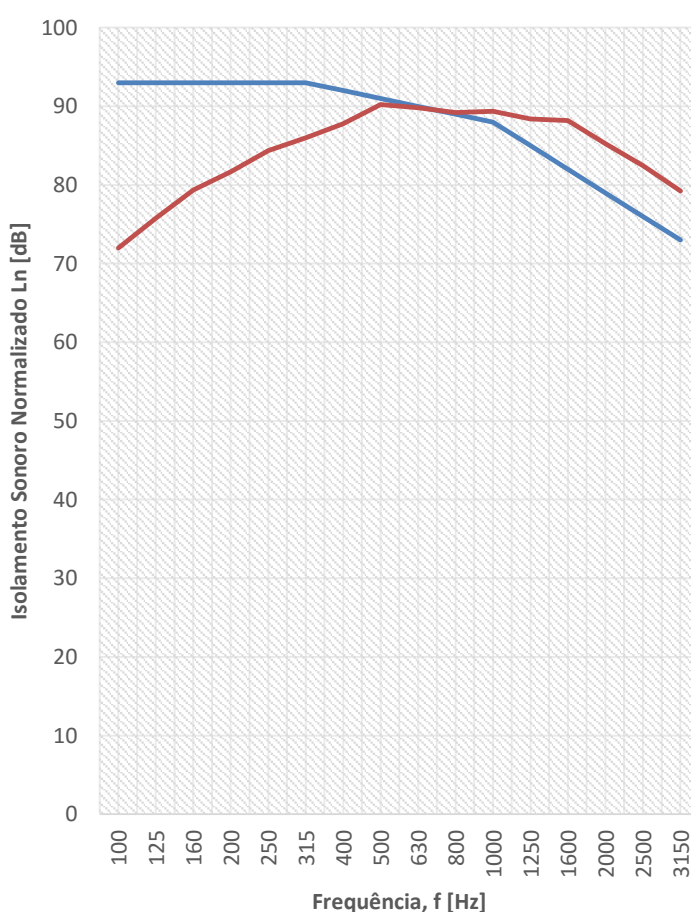
Tempo de cura: -

Temperatura do ar: 24 °C

Humidade do ar: 39 %

Frequência f [Hz]	L _n 1/3 oitava [dB]
100	72,0
125	75,8
160	79,3
200	81,7
250	84,4
315	86,0
400	87,8
500	90,2
630	89,8
800	89,2
1000	89,4
1250	88,4
1600	88,2
2000	85,3
2500	82,5
3150	79,2

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-2)



Índice segundo a ISO 717-2: $L_{n,w} (C_1) = 91 (-7) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições em laboratório, obtidas por meio do método de engenharia.

Boletim de Ensaio A3

ISOLAMENTO SONORO NORMALIZADO, SEGUNDO A NORMA ISO 10140 (TODAS AS PARTES)

MEDIÇÕES LABORATORIAIS DE ISOLAMENTO SONORO PROPORCIONADO POR PAVIMENTOS DE MADEIRA

Localização: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Data: 17/05/2016

Área do elemento de separação: 14.56 m²

Câmara reverberante emissora: E2

Volume do compartimento emissor: 74 m³

Câmara reverberante recetora: R1

Volume do compartimento recetor: 211 m³

Referência do ensaio: B [E5]

Descrição e identificação do pavimento, da configuração do ensaio, da direção de medição:

Medição vertical de E2 para R1. Pavimento em estrutura e revestimento de madeira, soalho com espessura de 3 cm, vigas com espessura de 11 cm e 8 cm de largura, revestidas superiormente de modo contínuo com apoio resiliente de densidade 200 kg/m³. Pavimento com revestimento superior em alcatifa de 2 mm de espessura.

Massa superficial do pavimento: 68.2 kg/m²

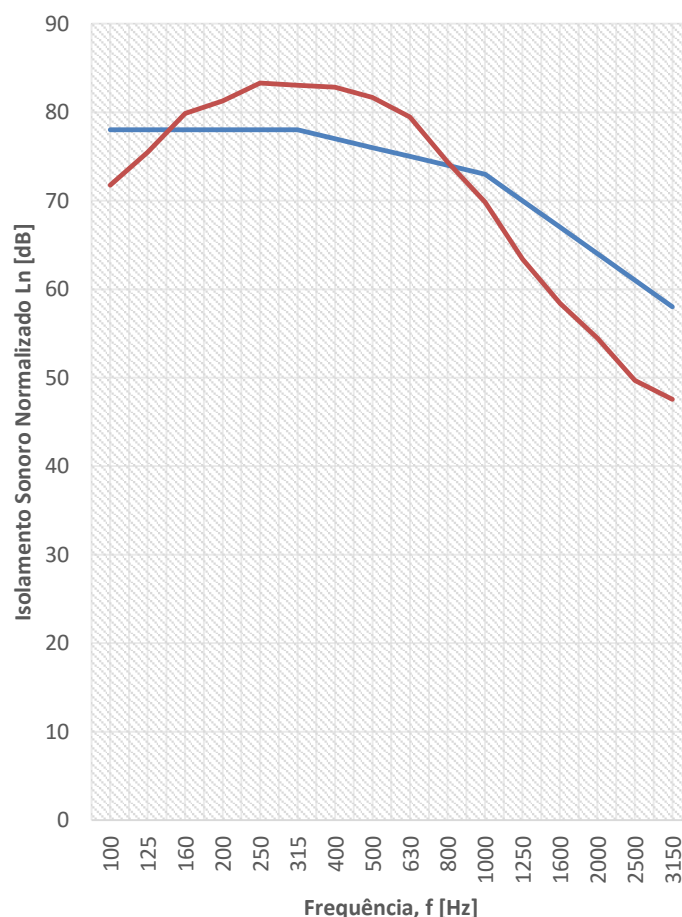
Tempo de cura: -

Temperatura do ar: 24 °C

Humidade do ar: 39 %

Frequência f [Hz]	L _n 1/3 oitava [dB]
100	71,7
125	75,5
160	79,9
200	81,3
250	83,3
315	83,1
400	82,8
500	81,7
630	79,5
800	74,4
1000	69,8
1250	63,4
1600	58,4
2000	54,5
2500	49,7
3150	47,5

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-2)



Índice segundo a ISO 717-2: $L_{n,w}(C_1) = 76(0)$ dB

Determinação baseada nas medições em laboratório, obtidas por meio do método de engenharia.

Boletim de Ensaio A4

REDUÇÃO SONORA, SEGUNDO A NORMA ISO 10140 (TODAS AS PARTES)

MEDIÇÕES LABORATORIAIS DE REDUÇÃO SONORA PROPORCIONADO POR PAVIMENTOS DE MADEIRA

Localização: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Data: 17/05/2016

Área do elemento de separação: 14.56 m²

Câmara reverberante emissora: E2

Volume do compartimento emissor: 74 m³

Câmara reverberante recetora: R1

Volume do compartimento recetor: 211 m³

Referência do ensaio: C [E6]

Descrição e identificação do pavimento, da configuração do ensaio, da direção de medição:

Medição vertical de E2 para R1. Pavimento em estrutura e revestimento de madeira, soalho com espessura de 3 cm, vigas com espessura de 11 cm e 8 cm de largura, revestidas superiormente de modo descontínuo com apoio resiliente de densidade 650 kg/m³, distanciados entre si de 28.5 cm.

Massa superficial do pavimento: 70 kg/m²

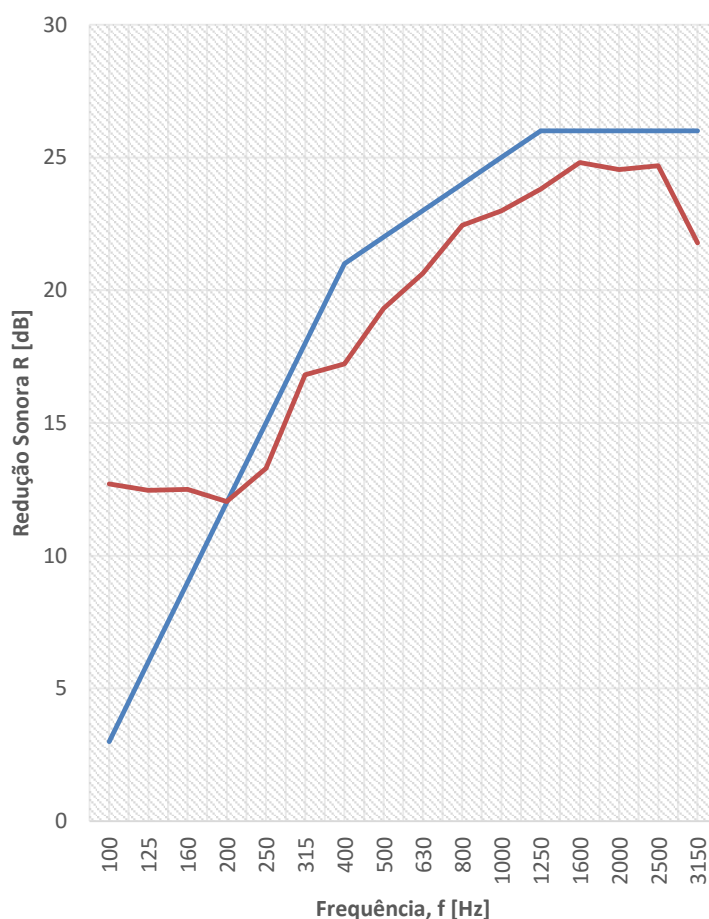
Tempo de cura: -

Temperatura do ar: 24 °C

Humidade do ar: 39 %

Frequência f [Hz]	R 1/3 oitava [dB]
100	12,7
125	12,5
160	12,5
200	12,0
250	13,3
315	16,8
400	17,2
500	19,3
630	20,6
800	22,4
1000	23,0
1250	23,8
1600	24,8
2000	24,5
2500	24,7
3150	21,8

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-1)



Índice segundo a ISO 717-1: $R_{w} (C; C_{tr}) = 22 (-1; -3) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições em laboratório, obtidas por meio do método de engenharia.

Boletim de Ensaio A5

ISOLAMENTO SONORO NORMALIZADO, SEGUNDO A NORMA ISO 10140 (TODAS AS PARTES)

MEDIÇÕES LABORATORIAIS DE ISOLAMENTO SONORO PROPORCIONADO POR PAVIMENTOS DE MADEIRA

Localização: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Data: 17/05/2016

Área do elemento de separação: 14.56 m²

Câmara reverberante emissora: E2

Volume do compartimento emissor: 74 m³

Câmara reverberante recetora: R1

Volume do compartimento recetor: 211 m³

Referência do ensaio: C [E6]

Descrição e identificação do pavimento, da configuração do ensaio, da direção de medição:

Medição vertical de E2 para R1. Pavimento em estrutura e revestimento de madeira, soalho com espessura de 3 cm, vigas com espessura de 11 cm e 8 cm de largura, revestidas superiormente de modo descontínuo com apoio resiliente de densidade 650 kg/m³, distanciados entre si de 28.5 cm.

Massa superficial do pavimento: 70 kg/m²

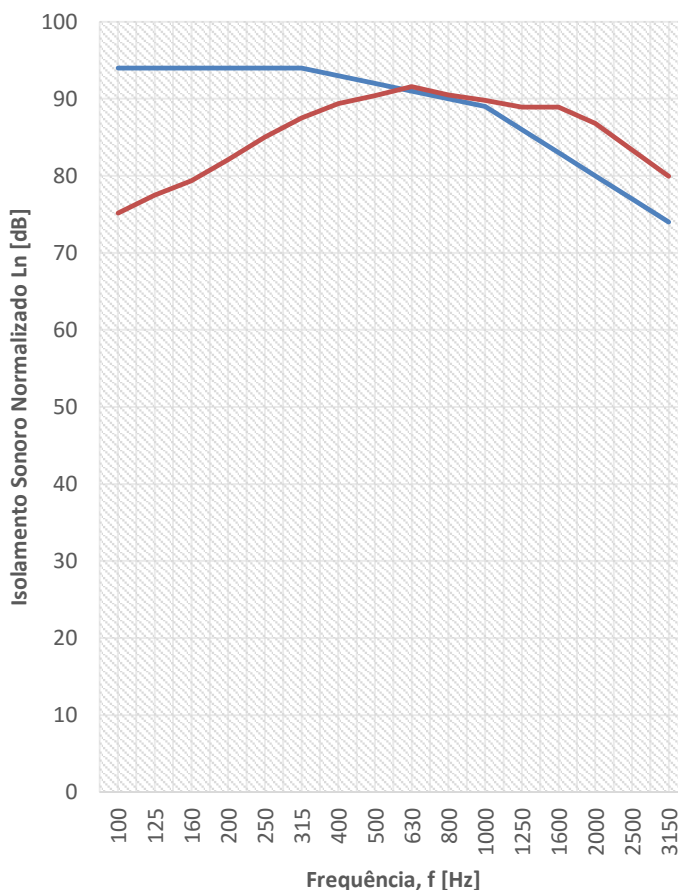
Tempo de cura: -

Temperatura do ar: 24 °C

Humidade do ar: 39 %

Frequência f [Hz]	L _n 1/3 oitava [dB]
100	75,1
125	77,5
160	79,3
200	82,1
250	85,0
315	87,5
400	89,4
500	90,4
630	91,6
800	90,5
1000	89,8
1250	88,9
1600	88,9
2000	86,8
2500	83,3
3150	79,9

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-2)



Índice segundo a ISO 717-2: $L_{n,w} (C_1) = 92 (-7) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições em laboratório, obtidas por meio do método de engenharia.

Boletim de Ensaio A6

ISOLAMENTO SONORO NORMALIZADO, SEGUNDO A NORMA ISO 10140 (TODAS AS PARTES)

MEDIÇÕES LABORATORIAIS DE ISOLAMENTO SONORO PROPORCIONADO POR PAVIMENTOS DE MADEIRA

Localização: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Data: 17/05/2016

Área do elemento de separação: 14.56 m²

Câmara reverberante emissora: E2

Volume do compartimento emissor: 74 m³

Câmara reverberante recetora: R1

Volume do compartimento recetor: 211 m³

Referência do ensaio: C [E6]

Descrição e identificação do pavimento, da configuração do ensaio, da direção de medição:

Medição vertical de E2 para R1. Pavimento em estrutura e revestimento de madeira, soalho com espessura de 3 cm, vigas com espessura de 11 cm e 8 cm de largura, revestidas superiormente de modo descontínuo com apoio resiliente de densidade 650 kg/m³, distanciados entre si de 28.5 cm. Pavimento com revestimento superior em alcatifa de 2 mm de espessura.

Massa superficial do pavimento: 70 kg/m²

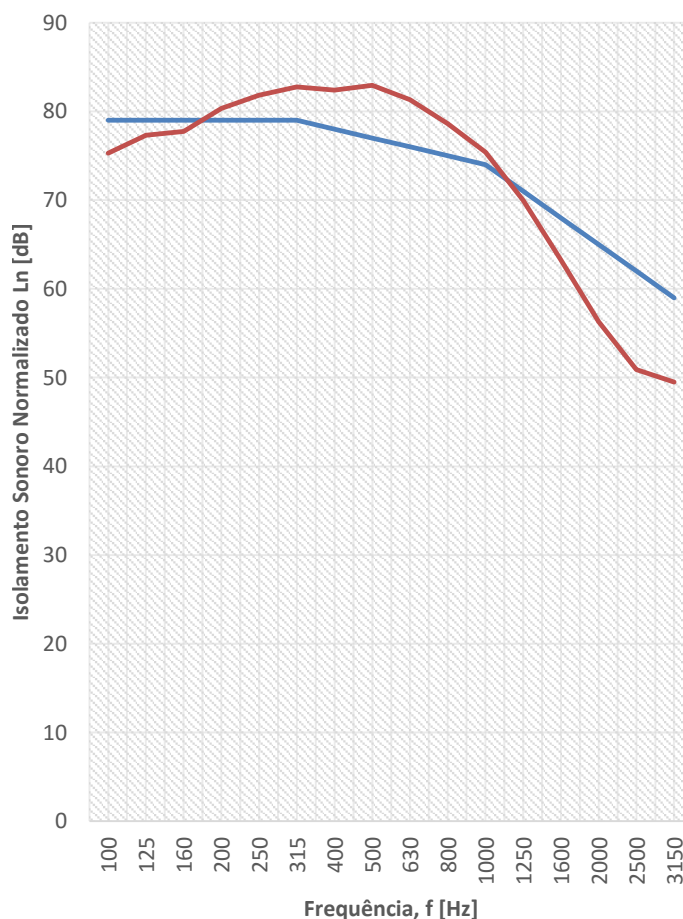
Tempo de cura: -

Temperatura do ar: 24 °C

Humidade do ar: 39 %

Frequência f [Hz]	L _n 1/3 oitava [dB]
100	75,3
125	77,3
160	77,8
200	80,3
250	81,8
315	82,7
400	82,4
500	82,9
630	81,3
800	78,6
1000	75,4
1250	69,9
1600	63,3
2000	56,3
2500	50,9
3150	49,5

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-2)



Índice segundo a ISO 717-2: $L_{n,w} (C_1) = 77 (-1) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições em laboratório, obtidas por meio do método de engenharia.

Boletim de Ensaio A7

REDUÇÃO SONORA, SEGUNDO A NORMA ISO 10140 (TODAS AS PARTES)

MEDIÇÕES LABORATORIAIS DE REDUÇÃO SONORA PROPORCIONADO POR PAVIMENTOS DE MADEIRA

Localização: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Data: 18/05/2016

Área do elemento de separação: 14.56 m²

Câmara reverberante emissora: E2

Volume do compartimento emissor: 74 m³

Câmara reverberante recetora: R1

Volume do compartimento recetor: 211 m³

Referência do ensaio: A [E7]

Descrição e identificação do pavimento, da configuração do ensaio, da direção de medição:
Medição vertical de E2 para R1. Pavimento em estrutura e revestimento de madeira, soalho com espessura de 3 cm, vigas com espessura de 11 cm e 8 cm de largura.

Massa superficial do pavimento: 67.2 kg/m²

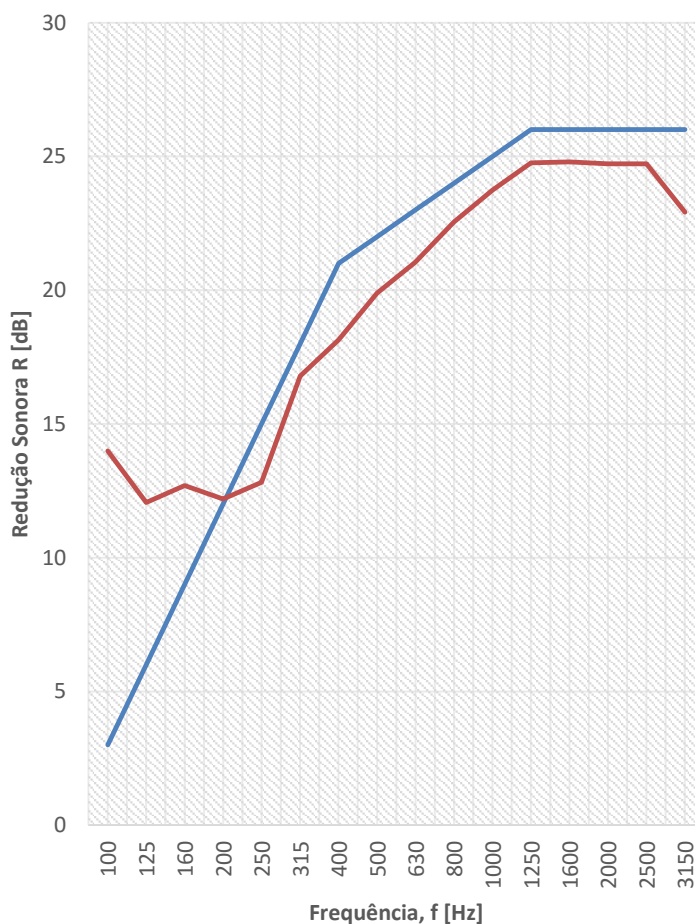
Tempo de cura: -

Temperatura do ar: 24 °C

Humidade do ar: 39 %

Frequência f [Hz]	R 1/3 oitava [dB]
100	14,0
125	12,1
160	12,7
200	12,2
250	12,8
315	16,8
400	18,1
500	19,9
630	21,1
800	22,5
1000	23,7
1250	24,8
1600	24,8
2000	24,7
2500	24,7
3150	22,9

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-1)



Índice segundo a ISO 717-1: $R_w (C; C_{tr}) = 22 (0; -2) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições em laboratório, obtidas por meio do método de engenharia.

Boletim de Ensaio A8

ISOLAMENTO SONORO NORMALIZADO, SEGUNDO A NORMA ISO 10140 (TODAS AS PARTES)

MEDIÇÕES LABORATORIAIS DE ISOLAMENTO SONORO PROPORCIONADO POR PAVIMENTOS DE MADEIRA

Localização: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Data: 18/05/2016

Área do elemento de separação: 14.56 m²

Câmara reverberante emissora: E2

Volume do compartimento emissor: 74 m³

Câmara reverberante recetora: R1

Volume do compartimento recetor: 211 m³

Referência do ensaio: A [E7]

Descrição e identificação do pavimento, da configuração do ensaio, da direção de medição:
Medição vertical de E2 para R1. Pavimento em estrutura e revestimento de madeira, soalho com espessura de 3 cm, vigas com espessura de 11 cm e 8 cm de largura.

Massa superficial do pavimento: 67.2 kg/m²

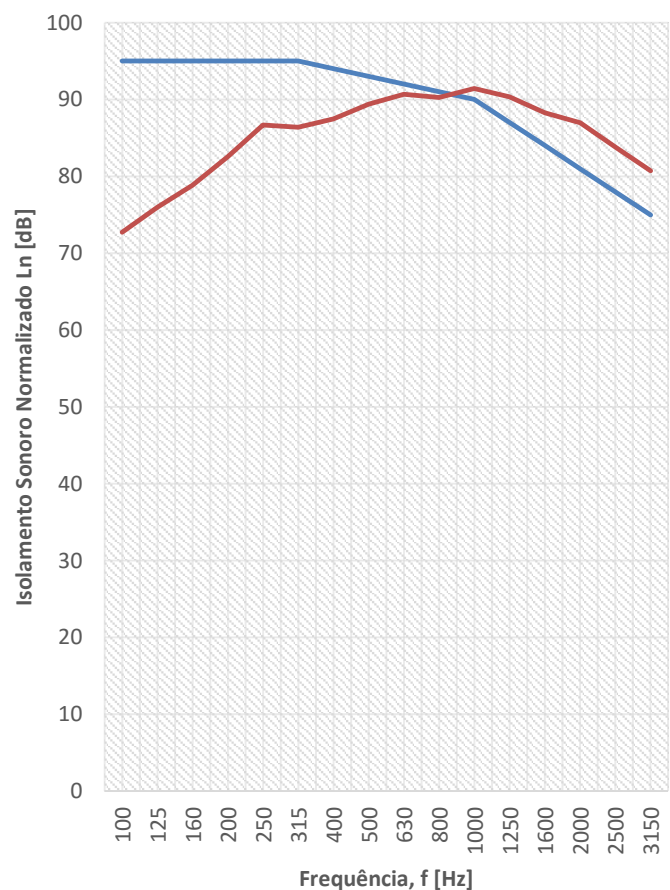
Tempo de cura: -

Temperatura do ar: 24 °C

Humidade do ar: 39 %

Frequência f [Hz]	L _n 1/3 oitava [dB]
100	72,7
125	76,0
160	78,9
200	82,6
250	86,7
315	86,4
400	87,5
500	89,4
630	90,7
800	90,3
1000	91,4
1250	90,4
1600	88,3
2000	87,0
2500	83,8
3150	80,7

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-2)



Índice segundo a ISO 717-2: $L_{n,w} (C_1) = 93 (-9) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições em laboratório, obtidas por meio do método de engenharia.

Boletim de Ensaio A9

ISOLAMENTO SONORO NORMALIZADO, SEGUNDO A NORMA ISO 10140 (TODAS AS PARTES)

MEDIÇÕES LABORATORIAIS DE ISOLAMENTO SONORO PROPORCIONADO POR PAVIMENTOS DE MADEIRA

Localização: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Data: 18/05/2016

Área do elemento de separação: 14.56 m²

Câmara reverberante emissora: E2

Volume do compartimento emissor: 74 m³

Câmara reverberante recetora: R1

Volume do compartimento recetor: 211 m³

Referência do ensaio: A [E7]

Descrição e identificação do pavimento, da configuração do ensaio, da direção de medição:

Medição vertical de E2 para R1. Pavimento em estrutura e revestimento de madeira, soalho com espessura de 3 cm, vigas com espessura de 11 cm e 8 cm de largura. Pavimento com revestimento superior em alcatifa de 2 mm de espessura.

Massa superficial do pavimento: 67.2 kg/m²

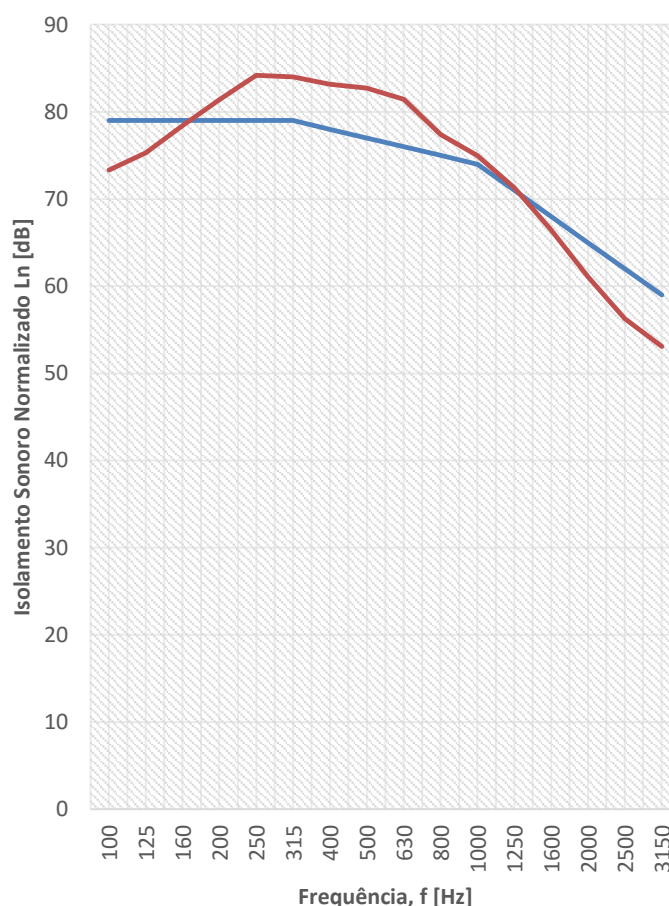
Tempo de cura: -

Temperatura do ar: 24 °C

Humidade do ar: 39 %

Frequência f [Hz]	L _n 1/3 oitava [dB]
100	73,3
125	75,3
160	78,4
200	81,4
250	84,2
315	84,0
400	83,2
500	82,7
630	81,5
800	77,4
1000	75,0
1250	71,3
1600	66,4
2000	61,1
2500	56,3
3150	53,1

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-2)



Índice segundo a ISO 717-2: $L_{n,w} (C_1) = 77 (0) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições em laboratório, obtidas por meio do método de engenharia.

Boletim de Ensaio A10

REDUÇÃO SONORA, SEGUNDO A NORMA ISO 10140 (TODAS AS PARTES)

MEDIÇÕES LABORATORIAIS DE REDUÇÃO SONORA PROPORCIONADO POR PAVIMENTOS DE MADEIRA

Localização: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Data: 23/05/2016

Área do elemento de separação: 14.56 m²

Câmara reverberante emissora: E2

Volume do compartimento emissor: 74 m³

Câmara reverberante recetora: R1

Volume do compartimento recetor: 211 m³

Referência do ensaio: F [E8]

Descrição e identificação do pavimento, da configuração do ensaio, da direção de medição:

Medição vertical de E2 para R1. Pavimento em estrutura e revestimento de madeira, soalho com espessura de 3 cm, vigas com espessura de 11 cm e 8 cm de largura. Tabuado fixado nas vigas com 9 cm, conferindo uma caixa de ar de 20 cm. Revestimento inferior em fasquiado com estuque (3 cm de ripado com recobrimento em estuque de 1 cm).

Massa superficial do pavimento: 141.6 kg/m²

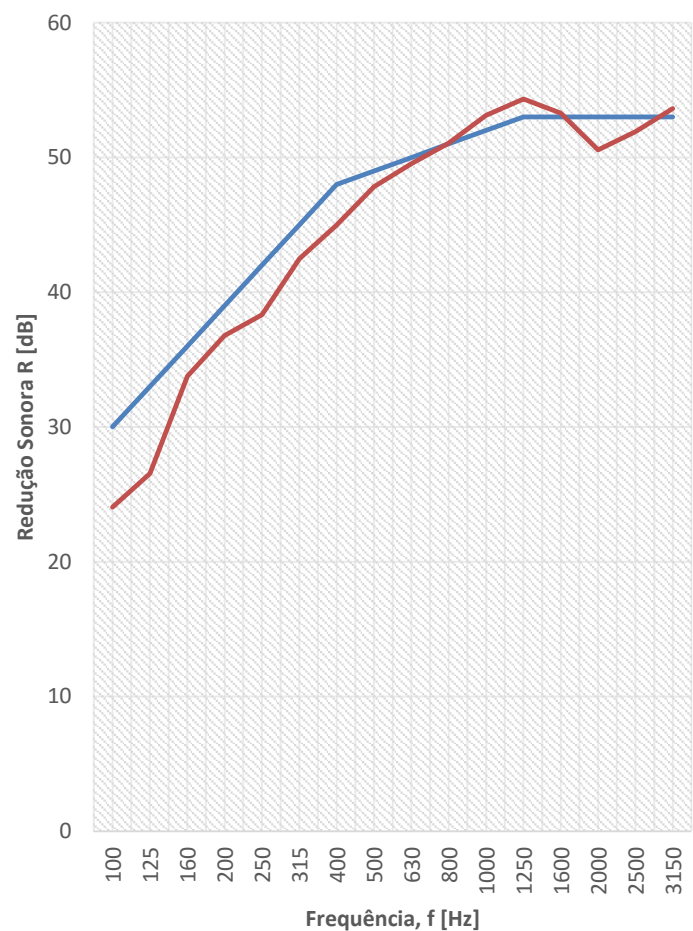
Tempo de cura: 60 h

Temperatura do ar: 24 °C

Humidade do ar: 39 %

Frequência f [Hz]	R 1/3 oitava [dB]
100	24,0
125	26,5
160	33,8
200	36,8
250	38,3
315	42,5
400	45,0
500	47,8
630	49,5
800	51,1
1000	53,1
1250	54,3
1600	53,3
2000	50,6
2500	51,9
3150	53,6

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-1)



Índice segundo a ISO 717-1: $R_w (C; C_{tr}) = 49 (-3; -8) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições em laboratório, obtidas por meio do método de engenharia.

Boletim de Ensaio A11

ISOLAMENTO SONORO NORMALIZADO, SEGUNDO A NORMA ISO 10140 (TODAS AS PARTES)

MEDIÇÕES LABORATORIAIS DE ISOLAMENTO SONORO PROPORCIONADO POR PAVIMENTOS DE MADEIRA

Localização: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Data: 23/05/2016

Área do elemento de separação: 14.56 m²

Câmara reverberante emissora: E2

Volume do compartimento emissor: 74 m³

Câmara reverberante recetora: R1

Volume do compartimento recetor: 211 m³

Referência do ensaio: F [E8]

Descrição e identificação do pavimento, da configuração do ensaio, da direção de medição:

Medição vertical de E2 para R1. Pavimento em estrutura e revestimento de madeira, soalho com espessura de 3 cm, vigas com espessura de 11 cm e 8 cm de largura. Tabuado fixado nas vigas com 9 cm, conferindo uma caixa de ar de 20 cm. Revestimento inferior em fasquiado com estuque (3 cm de ripado com recobrimento em estuque de 1 cm).

Massa superficial do pavimento: 141.6 kg/m²

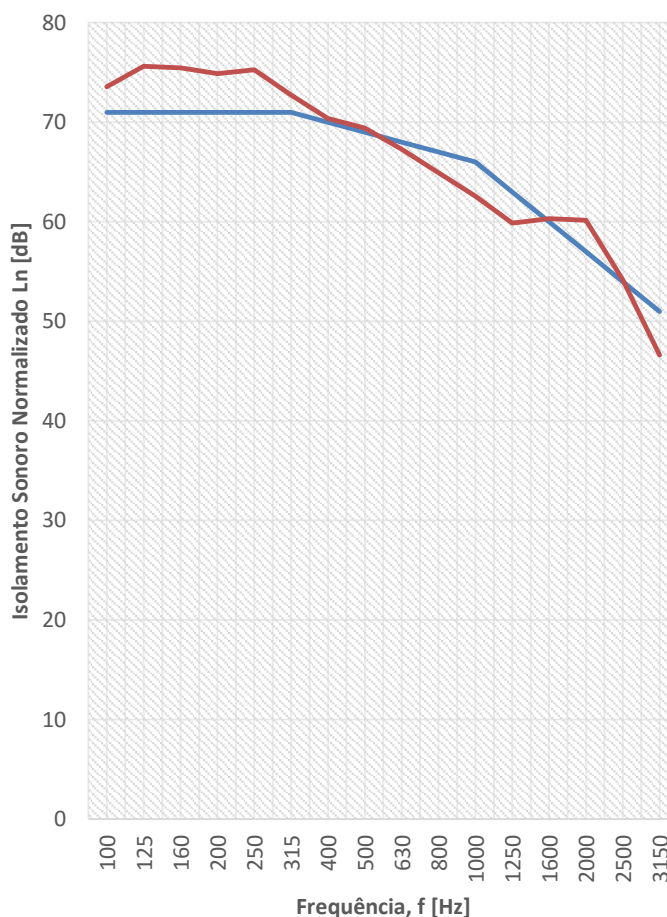
Tempo de cura: 60 h

Temperatura do ar: 24 °C

Humidade do ar: 39 %

Frequência f [Hz]	L _n 1/3 oitava [dB]
100	73,6
125	75,6
160	75,5
200	74,9
250	75,3
315	72,7
400	70,4
500	69,4
630	67,3
800	64,9
1000	62,6
1250	59,9
1600	60,3
2000	60,1
2500	54,2
3150	46,6

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-2)



Índice segundo a ISO 717-2: $L_{n,w} (C_1) = 69 (-1) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições em laboratório, obtidas por meio do método de engenharia

Boletim de Ensaio A12

ISOLAMENTO SONORO NORMALIZADO, SEGUNDO A NORMA ISO 10140 (TODAS AS PARTES)

MEDIÇÕES LABORATORIAIS DE ISOLAMENTO SONORO PROPORCIONADO POR PAVIMENTOS DE MADEIRA

Localização: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Data: 23/05/2016

Área do elemento de separação: 14.56 m²

Câmara reverberante emissora: E2

Volume do compartimento emissor: 74 m³

Câmara reverberante recetora: R1

Volume do compartimento recetor: 211 m³

Referência do ensaio: F [E8]

Descrição e identificação do pavimento, da configuração do ensaio, da direção de medição:

Medição vertical de E2 para R1. Pavimento em estrutura e revestimento de madeira, soalho com espessura de 3 cm, vigas com espessura de 11 cm e 8 cm de largura. Tabuado fixado nas vigas com 9 cm, conferindo uma caixa de ar de 20 cm. Revestimento inferior em fasquiado com estuque (3 cm de ripado com recobrimento em estuque de 1 cm). Pavimento com revestimento superior em alcatifa de 2 mm de espessura.

Massa superficial do pavimento: 141.6 kg/m²

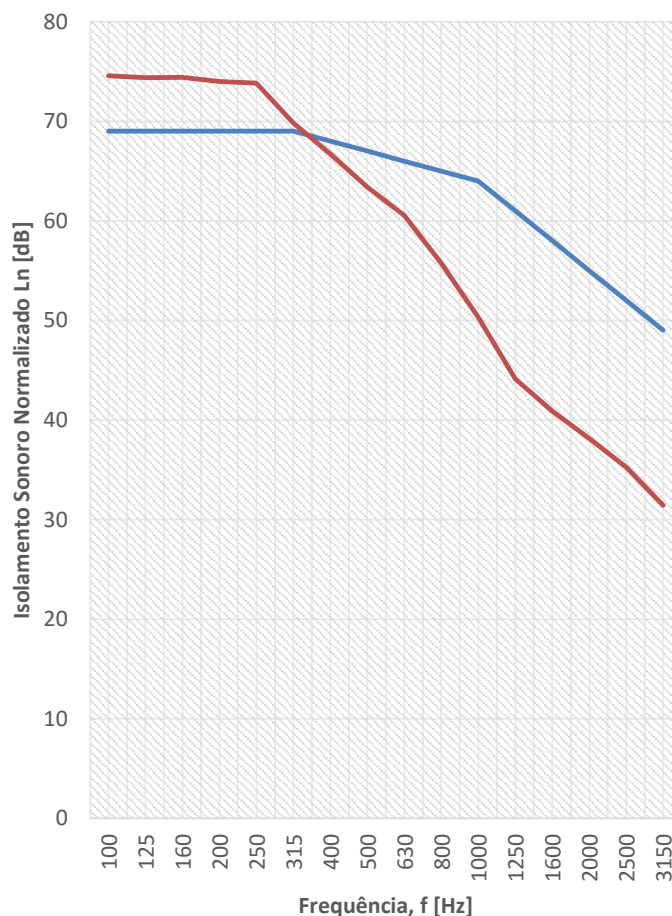
Tempo de cura: 60 h

Temperatura do ar: 24 °C

Humidade do ar: 39 %

Frequência f [Hz]	L _n 1/3 oitava [dB]
100	74,6
125	74,4
160	74,4
200	74,0
250	73,8
315	69,8
400	66,7
500	63,4
630	60,5
800	55,7
1000	50,3
1250	44,1
1600	40,9
2000	38,1
2500	35,2
3150	31,4

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-2)



Índice segundo a ISO 717-2: $L_{n,w} (C_1) = 67 (0) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições em laboratório, obtidas por meio do método de engenharia.

Boletim de Ensaio A13

REDUÇÃO SONORA, SEGUNDO A NORMA ISO 10140 (TODAS AS PARTES)

MEDIÇÕES LABORATORIAIS DE REDUÇÃO SONORA PROPORCIONADO POR PAVIMENTOS DE MADEIRA

Localização: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Data: 23/05/2016

Área do elemento de separação: 14.56 m²

Câmara reverberante emissora: E2

Volume do compartimento emissor: 74 m³

Câmara reverberante recetora: R1

Volume do compartimento recetor: 211 m³

Referência do ensaio: G [E9]

Descrição e identificação do pavimento, da configuração do ensaio, da direção de medição:

Medição vertical de E2 para R1. Pavimento em estrutura e revestimento de madeira, soalho com espessura de 3 cm, vigas com espessura de 11 cm e 8 cm de largura. Tabuado fixado nas vigas com 9 cm, conferindo uma caixa de ar de 20 cm. Preenchimento parcial da caixa de ar com 7 cm de lã de rocha (70 kg/m³). Revestimento inferior em fasquiado com estuque (3 cm de ripado com recobrimento em estuque de 1 cm).

Massa superficial do pavimento: 146.5 kg/m²

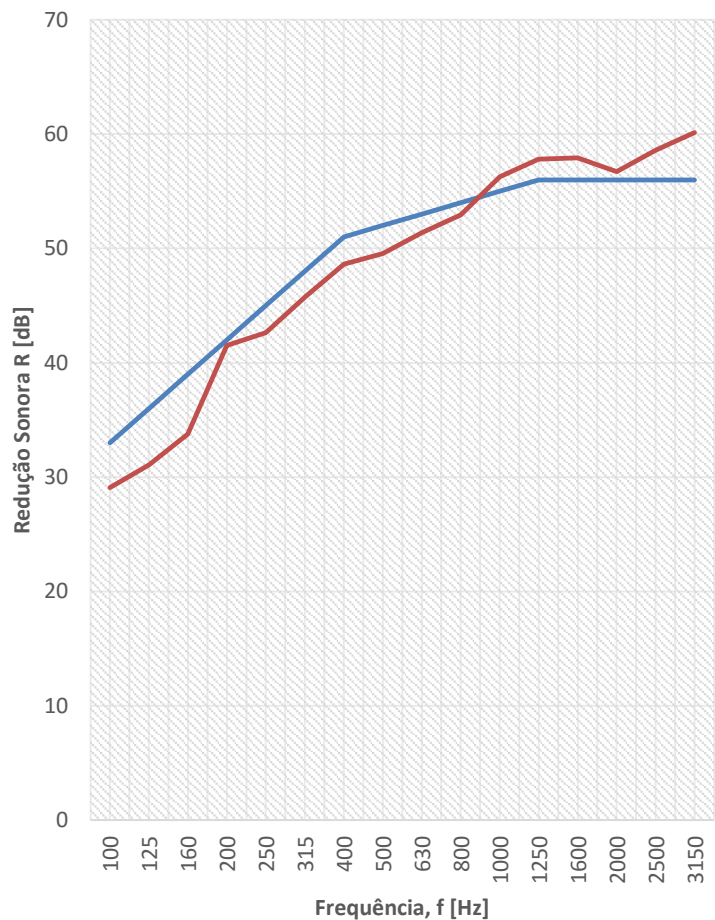
Tempo de cura: -

Temperatura do ar: 24 °C

Humidade do ar: 39 %

Frequência f [Hz]	R 1/3 oitava [dB]
100	29,1
125	31,1
160	33,8
200	41,5
250	42,6
315	45,8
400	48,6
500	49,5
630	51,4
800	52,9
1000	56,3
1250	57,8
1600	57,9
2000	56,7
2500	58,6
3150	60,1

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-1)



Índice segundo a ISO 717-1: $R_w (C; C_{tr}) = 52 (-2; -7)$ dB

Determinação baseada nas medições em laboratório, obtidas por meio do método de engenharia.

Boletim de Ensaio A14

ISOLAMENTO SONORO NORMALIZADO, SEGUNDO A NORMA ISO 10140 (TODAS AS PARTES)

MEDIÇÕES LABORATORIAIS DE ISOLAMENTO SONORO PROPORCIONADO POR PAVIMENTOS DE MADEIRA

Localização: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Data: 23/05/2016

Área do elemento de separação: 14.56 m²

Câmara reverberante emissora: E2

Volume do compartimento emissor: 74 m³

Câmara reverberante recetora: R1

Volume do compartimento recetor: 211 m³

Referência do ensaio: G [E9]

Descrição e identificação do pavimento, da configuração do ensaio, da direção de medição:

Medição vertical de E2 para R1. Pavimento em estrutura e revestimento de madeira, soalho com espessura de 3 cm, vigas com espessura de 11 cm e 8 cm de largura. Tabuado fixado nas vigas com 9 cm, conferindo uma caixa de ar de 20 cm. Preenchimento parcial da caixa de ar com 7 cm de lâ de rocha (70 kg/m³). Revestimento inferior em fasquiado com estuque (3 cm de ripado com recobrimento em estuque de 1 cm).

Massa superficial do pavimento: 146.5 kg/m²

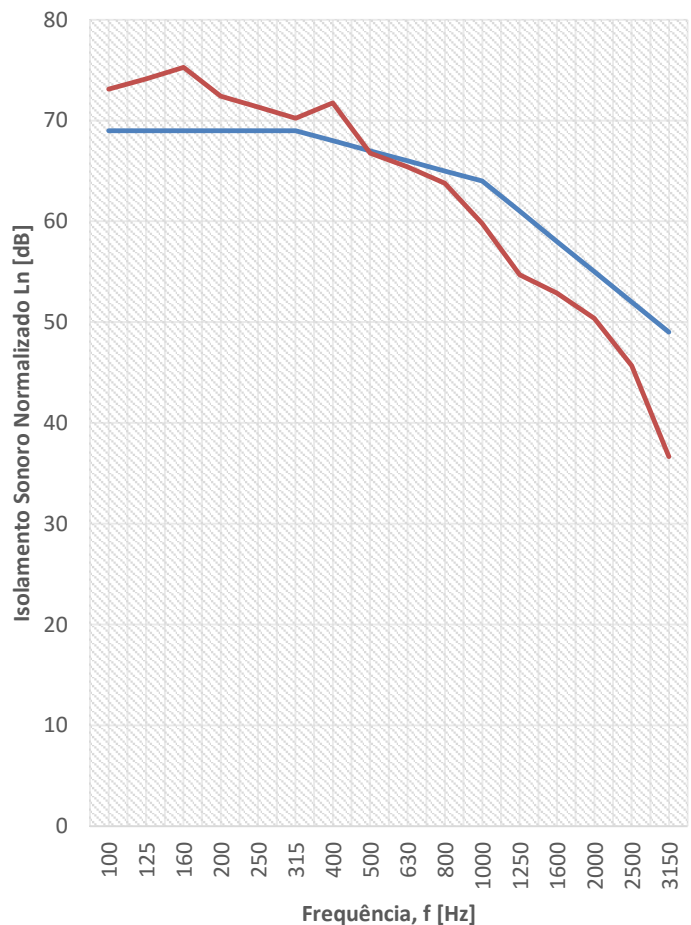
Tempo de cura: -

Temperatura do ar: 24 °C

Humidade do ar: 39 %

Frequência f [Hz]	L _n 1/3 oitava [dB]
100	73,1
125	74,1
160	75,3
200	72,4
250	71,3
315	70,2
400	71,7
500	66,8
630	65,4
800	63,8
1000	59,8
1250	54,7
1600	52,9
2000	50,4
2500	45,7
3150	36,6

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-2)



Índice segundo a ISO 717-2: $L_{n,w} (C_1) = 67 (0) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições em laboratório, obtidas por meio do método de engenharia.

Boletim de Ensaio A15

ISOLAMENTO SONORO NORMALIZADO, SEGUNDO A NORMA ISO 10140 (TODAS AS PARTES)

MEDIÇÕES LABORATORIAIS DE ISOLAMENTO SONORO PROPORCIONADO POR PAVIMENTOS DE MADEIRA

Localização: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Data: 23/05/2016

Área do elemento de separação: 14.56 m²

Câmara reverberante emissora: E2

Volume do compartimento emissor: 74 m³

Câmara reverberante recetora: R1

Volume do compartimento recetor: 211 m³

Referência do ensaio: G [E9]

Descrição e identificação do pavimento, da configuração do ensaio, da direção de medição:

Medição vertical de E2 para R1. Pavimento em estrutura e revestimento de madeira, soalho com espessura de 3 cm, vigas com espessura de 11 cm e 8 cm de largura. Tabuado fixado nas vigas com 9 cm, conferindo uma caixa de ar de 20 cm. Preenchimento parcial da caixa de ar com 7 cm de lâ de rocha (70 kg/m³). Revestimento inferior em fasquiado com estuque (3 cm de ripado com recobrimento em estuque de 1 cm). Pavimento com revestimento superior em alcatifa de 2 mm de espessura.

Massa superficial do pavimento: 146.5 kg/m²

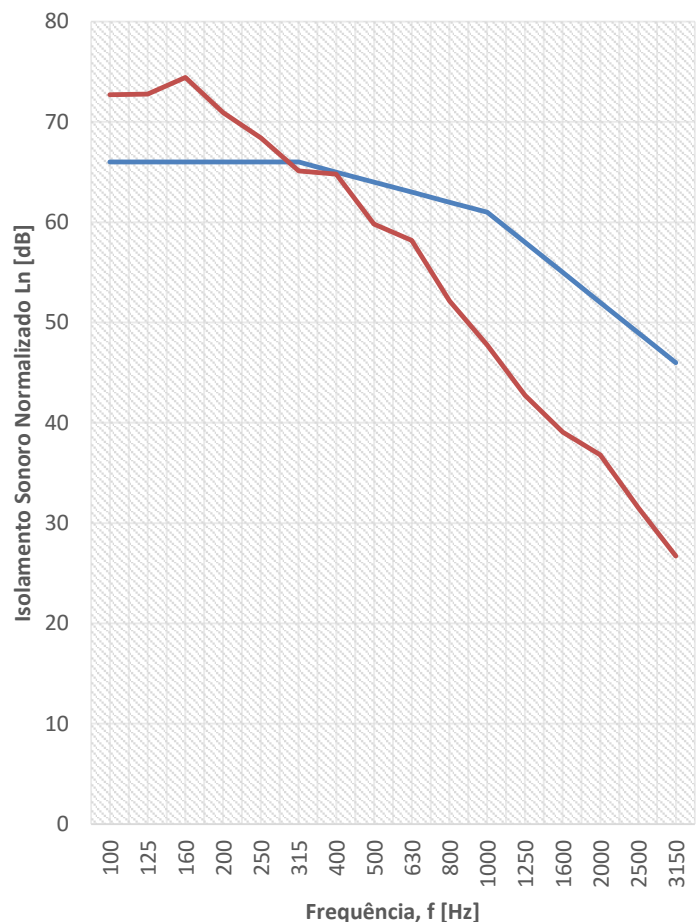
Tempo de cura: -

Temperatura do ar: 24 °C

Humidade do ar: 39 %

Frequência f [Hz]	L _n 1/3 oitava [dB]
100	72,7
125	72,8
160	74,4
200	70,9
250	68,4
315	65,1
400	64,8
500	59,8
630	58,2
800	52,2
1000	47,7
1250	42,7
1600	39,1
2000	36,8
2500	31,6
3150	26,7

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-2)



Índice segundo a ISO 717-2: $L_{n,w} (C_1) = 64 (+1) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições em laboratório, obtidas por meio do método de engenharia.

Boletim de Ensaio A16

REDUÇÃO SONORA, SEGUNDO A NORMA ISO 10140 (TODAS AS PARTES)

MEDIÇÕES LABORATORIAIS DE REDUÇÃO SONORA PROPORCIONADO POR PAVIMENTOS DE MADEIRA

Localização: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Data: 23/05/2016

Área do elemento de separação: 14.56 m²

Câmara reverberante emissora: E2

Volume do compartimento emissor: 74 m³

Câmara reverberante recetora: R1

Volume do compartimento recetor: 211 m³

Referência do ensaio: D [E10]

Descrição e identificação do pavimento, da configuração do ensaio, da direção de medição:

Medição vertical de E2 para R1. Pavimento em estrutura e revestimento de madeira, soalho com espessura de 3 cm, vigas com espessura de 11 cm e 8 cm de largura, revestidas superiormente de modo contínuo com apoio resiliente de densidade 200 kg/m³. Tabuado fixado nas vigas com 9 cm, conferindo uma caixa de ar de 20 cm. Preenchimento parcial da caixa de ar com 7 cm de lã de rocha (70 kg/m³). Revestimento inferior em fasquiado com estuque (3 cm de ripado com recobrimento em estuque de 1 cm).

Massa superficial do pavimento: 147.5 kg/m²

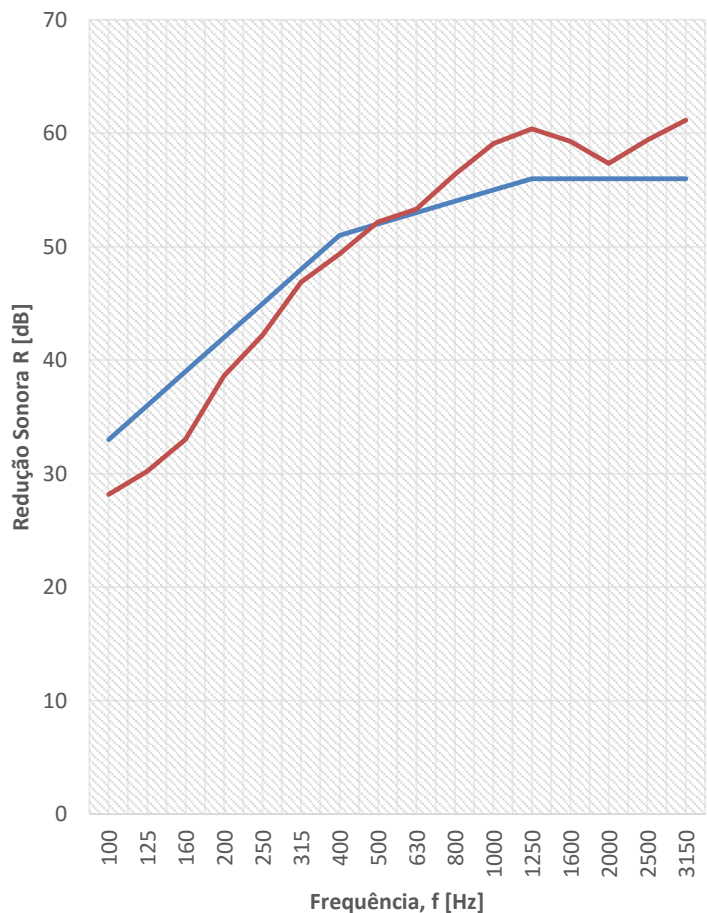
Tempo de cura: -

Temperatura do ar: 24 °C

Humidade do ar: 39 %

Frequência f [Hz]	R 1/3 oitava [dB]
100	28,2
125	30,2
160	33,0
200	38,6
250	42,2
315	46,9
400	49,4
500	52,2
630	53,3
800	56,4
1000	59,1
1250	60,4
1600	59,3
2000	57,3
2500	59,4
3150	61,2

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-1)



Índice segundo a ISO 717-1: $R_w (C; C_{tr}) = 52 (-2; -8)$ dB

Determinação baseada nas medições em laboratório, obtidas por meio do método de engenharia.

Boletim de Ensaio A17

ISOLAMENTO SONORO NORMALIZADO, SEGUNDO A NORMA ISO 10140 (TODAS AS PARTES)

MEDIÇÕES LABORATORIAIS DE ISOLAMENTO SONORO PROPORCIONADO POR PAVIMENTOS DE MADEIRA

Localização: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Data: 23/05/2016

Área do elemento de separação: 14.56 m²

Câmara reverberante emissora: E2

Volume do compartimento emissor: 74 m³

Câmara reverberante recetora: R1

Volume do compartimento recetor: 211 m³

Referência do ensaio: D [E10]

Descrição e identificação do pavimento, da configuração do ensaio, da direção de medição:

Medição vertical de E2 para R1. Pavimento em estrutura e revestimento de madeira, soalho com espessura de 3 cm, vigas com espessura de 11 cm e 8 cm de largura, revestidas superiormente de modo contínuo com apoio resiliente de densidade 200 kg/m³. Tabuado fixado nas vigas com 9 cm, conferindo uma caixa de ar de 20 cm. Preenchimento parcial da caixa de ar com 7 cm de lã de rocha (70 kg/m³). Revestimento inferior em fasquiado com estuque (3 cm de ripado com recobrimento em estuque de 1 cm).

Massa superficial do pavimento: 147.5 kg/m²

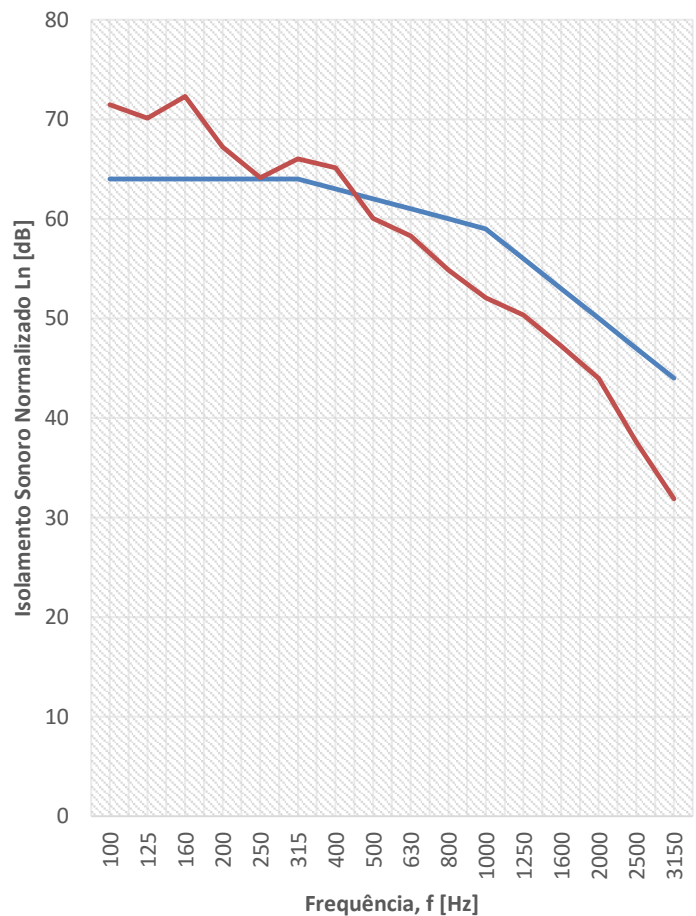
Tempo de cura: -

Temperatura do ar: 24 °C

Humidade do ar: 39 %

Frequência f [Hz]	L _n 1/3 oitava [dB]
100	71,5
125	70,1
160	72,3
200	67,2
250	64,1
315	66,0
400	65,1
500	60,1
630	58,3
800	54,9
1000	52,1
1250	50,3
1600	47,2
2000	44,0
2500	37,6
3150	31,9

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-2)



Índice segundo a ISO 717-2: $L_{n,w}(C_1) = 62 (+1) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições em laboratório, obtidas por meio do método de engenharia.

Boletim de Ensaio A18

ISOLAMENTO SONORO NORMALIZADO, SEGUNDO A NORMA ISO 10140 (TODAS AS PARTES)

MEDIÇÕES LABORATORIAIS DE ISOLAMENTO SONORO PROPORCIONADO POR PAVIMENTOS DE MADEIRA

Localização: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Data: 23/05/2016

Área do elemento de separação: 14.56 m²

Câmara reverberante emissora: E2

Volume do compartimento emissor: 74 m³

Câmara reverberante recetora: R1

Volume do compartimento recetor: 211 m³

Referência do ensaio: D [E10]

Descrição e identificação do pavimento, da configuração do ensaio, da direção de medição:

Medição vertical de E2 para R1. Pavimento em estrutura e revestimento de madeira, soalho com espessura de 3 cm, vigas com espessura de 11 cm e 8 cm de largura, revestidas superiormente de modo continuo com apoio resiliente de densidade 200 kg/m³. Tabuado fixado nas vigas com 9 cm, conferindo uma caixa de ar de 20 cm. Preenchimento parcial da caixa de ar com 7 cm de lã de rocha (70 kg/m³). Revestimento inferior em fasquiado com estuque (3 cm de ripado com recobrimento em estuque de 1 cm). Pavimento com revestimento superior em alcatifa de 2 mm de espessura.

Massa superficial do pavimento: 147.5 kg/m²

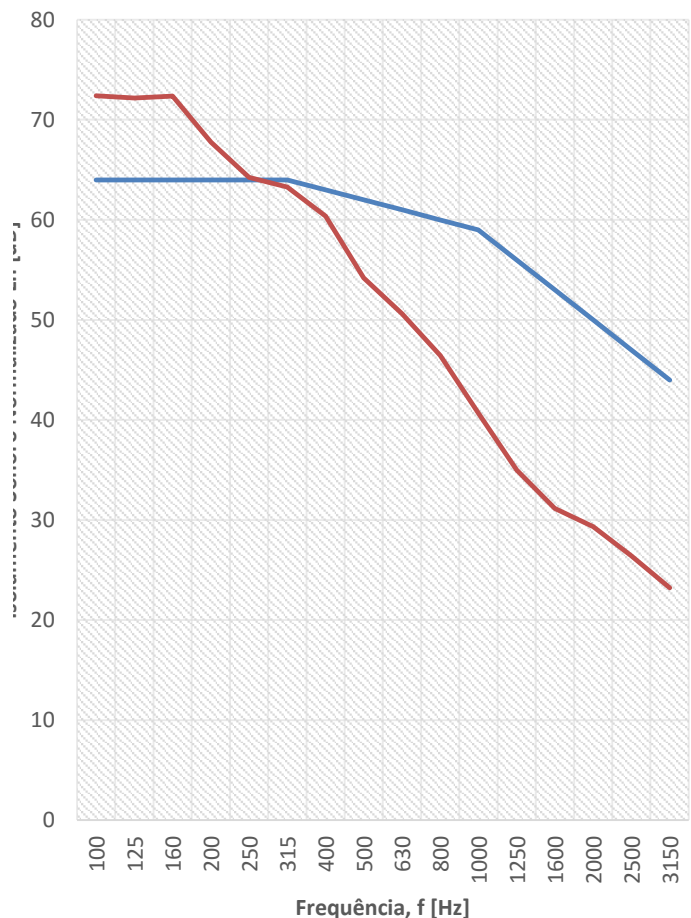
Tempo de cura: -

Temperatura do ar: 24 °C

Humidade do ar: 39 %

Frequência f [Hz]	L _n 1/3 oitava [dB]
100	72,4
125	72,2
160	72,4
200	67,8
250	64,2
315	63,3
400	60,4
500	54,2
630	50,6
800	46,5
1000	40,7
1250	35,0
1600	31,2
2000	29,3
2500	26,4
3150	23,2

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-2)



Índice segundo a ISO 717-2: L_{n,w} (C_I) = 62 (+1) dB

Determinação baseada nas medições em laboratório, obtidas por meio do método de engenharia.

Boletim de Ensaio A19

REDUÇÃO SONORA, SEGUNDO A NORMA ISO 10140 (TODAS AS PARTES)

MEDIÇÕES LABORATORIAIS DE REDUÇÃO SONORA PROPORCIONADO POR PAVIMENTOS DE MADEIRA

Localização: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Data: 25/05/2016

Área do elemento de separação: 14.56 m²

Câmara reverberante emissora: E2

Volume do compartimento emissor: 74 m³

Câmara reverberante recetora: R1

Volume do compartimento recetor: 211 m³

Referência do ensaio: E [E13]

Descrição e identificação do pavimento, da configuração do ensaio, da direção de medição:

Medição vertical de E2 para R1. Pavimento em estrutura e revestimento de madeira, soalho com espessura de 3 cm, vigas com espessura de 11 cm e 8 cm de largura, revestidas superiormente de modo descontínuo com apoio resiliente de densidade 650 kg/m³. Tabuado fixado nas vigas com 9 cm, conferindo uma caixa de ar de 20 cm. Preenchimento parcial da caixa de ar com 7 cm de lã de rocha (70 kg/m³). Revestimento inferior em fasquiado com estuque (3 cm de ripado com recobrimento em estuque de 1 cm).

Massa superficial do pavimento: 149.8 kg/m²

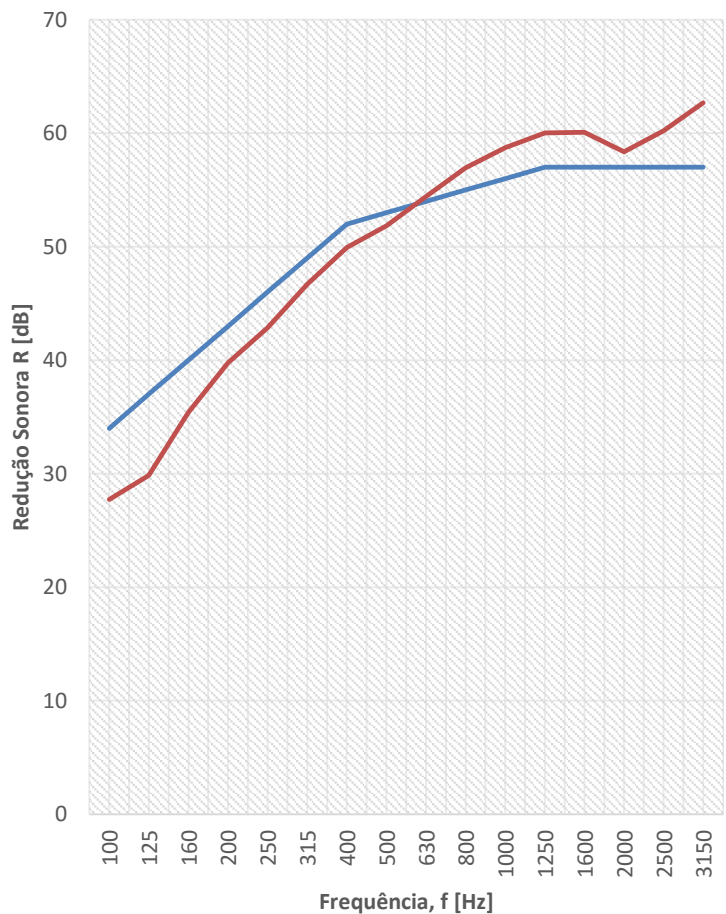
Tempo de cura: -

Temperatura do ar: 24 °C

Humidade do ar: 39 %

Frequência f [Hz]	R 1/3 oitava [dB]
100	27,7
125	29,9
160	35,4
200	39,8
250	42,8
315	46,7
400	49,9
500	51,8
630	54,4
800	56,9
1000	58,7
1250	60,0
1600	60,1
2000	58,4
2500	60,2
3150	62,7

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-1)



Índice segundo a ISO 717-1: $R_w (C; C_{tr}) = 53 (-3; -9) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições em laboratório, obtidas por meio do método de engenharia.

Boletim de Ensaio A20

ISOLAMENTO SONORO NORMALIZADO, SEGUNDO A NORMA ISO 10140 (TODAS AS PARTES)

MEDIÇÕES LABORATORIAIS DE ISOLAMENTO SONORO PROPORCIONADO POR PAVIMENTOS DE MADEIRA

Localização: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Data: 25/05/2016

Área do elemento de separação: 14.56 m²

Câmara reverberante emissora: E2

Volume do compartimento emissor: 74 m³

Câmara reverberante recetora: R1

Volume do compartimento recetor: 211 m³

Referência do ensaio: E [E13]

Descrição e identificação do pavimento, da configuração do ensaio, da direção de medição:

Medição vertical de E2 para R1. Pavimento em estrutura e revestimento de madeira, soalho com espessura de 3 cm, vigas com espessura de 11 cm e 8 cm de largura, revestidas superiormente de modo descontínuo com apoio resiliente de densidade 650 kg/m³. Tabuado fixado nas vigas com 9 cm, conferindo uma caixa de ar de 20 cm. Preenchimento parcial da caixa de ar com 7 cm de lã de rocha (70 kg/m³). Revestimento inferior em fasquiado com estuque (3 cm de ripado com recobrimento em estuque de 1 cm).

Massa superficial do pavimento: 149.8 kg/m²

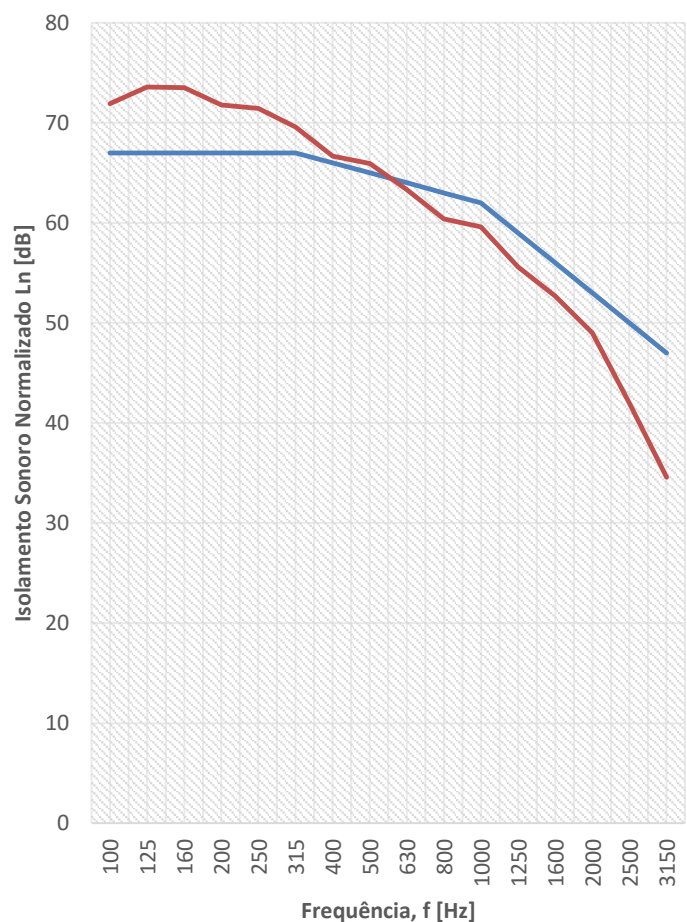
Tempo de cura: -

Temperatura do ar: 24 °C

Humidade do ar: 39 %

Frequência f [Hz]	L _n 1/3 oitava [dB]
100	71,9
125	73,6
160	73,5
200	71,8
250	71,4
315	69,6
400	66,7
500	65,9
630	63,3
800	60,4
1000	59,6
1250	55,6
1600	52,7
2000	49,0
2500	42,0
3150	34,6

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-2)



Índice segundo a ISO 717-2: $L_{n,w}(C_1) = 65 (0) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições em laboratório, obtidas por meio do método de engenharia.

Boletim de Ensaio A21

ISOLAMENTO SONORO NORMALIZADO, SEGUNDO A NORMA ISO 10140 (TODAS AS PARTES)

MEDIÇÕES LABORATORIAIS DE ISOLAMENTO SONORO PROPORCIONADO POR PAVIMENTOS DE MADEIRA

Localização: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Data: 25/05/2016

Área do elemento de separação: 14.56 m²

Câmara reverberante emissora: E2

Volume do compartimento emissor: 74 m³

Câmara reverberante recetora: R1

Volume do compartimento recetor: 211 m³

Referência do ensaio: E [E13]

Descrição e identificação do pavimento, da configuração do ensaio, da direção de medição:

Medição vertical de E2 para R1. Pavimento em estrutura e revestimento de madeira, soalho com espessura de 3 cm, vigas com espessura de 11 cm e 8 cm de largura, revestidas superiormente de modo descontínuo com apoio resiliente de densidade 650 kg/m³. Tabuado fixado nas vigas com 9 cm, conferindo uma caixa de ar de 20 cm. Preenchimento parcial da caixa de ar com 7 cm de lã de rocha (70 kg/m³). Revestimento inferior em fasquiado com estuque (3 cm de ripado com recobrimento em estuque de 1 cm). Pavimento com revestimento superior em alcatifa de 2 mm de espessura.

Massa superficial do pavimento: 149.8 kg/m²

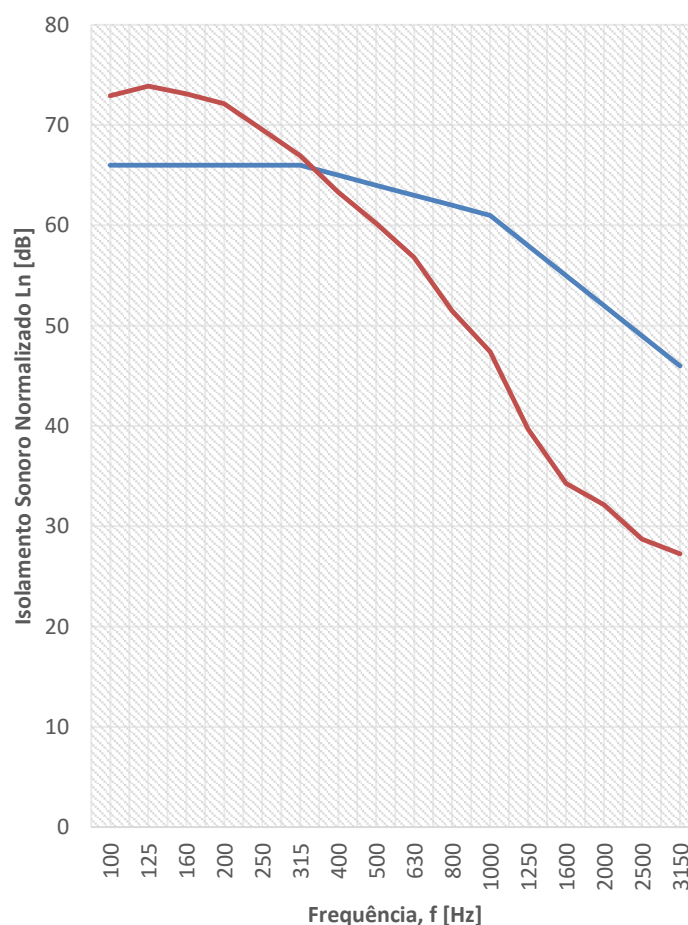
Tempo de cura: -

Temperatura do ar: 24 °C

Humidade do ar: 39 %

Frequência f [Hz]	L _n 1/3 oitava [dB]
100	72,9
125	73,9
160	73,1
200	72,1
250	69,5
315	67,0
400	63,3
500	60,2
630	56,8
800	51,5
1000	47,4
1250	39,7
1600	34,3
2000	32,1
2500	28,7
3150	27,3

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-2)



Índice segundo a ISO 717-2: $L_{n,w}(C_1) = 64 (+1)$ dB

Determinação baseada nas medições em laboratório, obtidas por meio do método de engenharia.

Boletim de Ensaio A22

REDUÇÃO SONORA, SEGUNDO A NORMA ISO 10140 (TODAS AS PARTES)

MEDIÇÕES LABORATORIAIS DE REDUÇÃO SONORA PROPORCIONADO POR PAVIMENTOS DE MADEIRA

Localização: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Data: 20/05/2016

Área do elemento de separação: 14.56 m²

Câmara reverberante emissora: E2

Volume do compartimento emissor: 74 m³

Câmara reverberante recetora: R1

Volume do compartimento recetor: 211 m³

Referência do ensaio: F1 [E8]

Descrição e identificação do pavimento, da configuração do ensaio, da direção de medição:

Medição vertical de E2 para R1. Pavimento em estrutura e revestimento de madeira, soalho com espessura de 3 cm, vigas com espessura de 11 cm e 8 cm de largura. Tabuado fixado nas vigas com 9 cm, conferindo uma caixa de ar de 20 cm. Revestimento inferior em fasquiado com estuque (3 cm de ripado com recobrimento em estuque de 1 cm).

Massa superficial do pavimento: 141.6 kg/m²

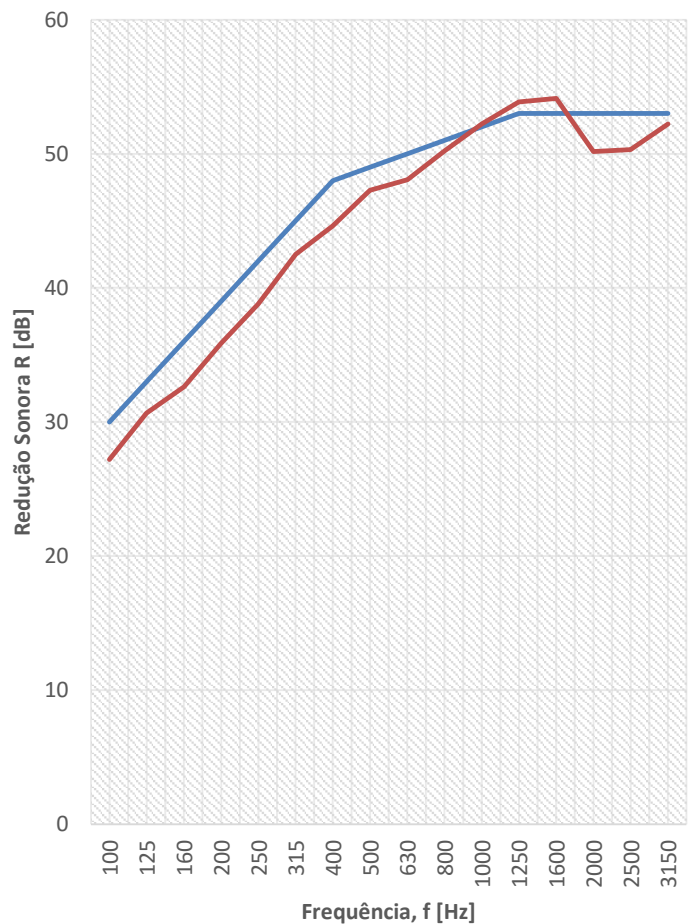
Tempo de cura: 4 h

Temperatura do ar: 24 °C

Humidade do ar: 47 %

Frequência f [Hz]	R 1/3 oitava [dB]
100	27,2
125	30,7
160	32,6
200	35,9
250	38,8
315	42,5
400	44,6
500	47,3
630	48,1
800	50,2
1000	52,2
1250	53,9
1600	54,1
2000	50,2
2500	50,3
3150	52,2

Gama de frequências de acordo com a curva dos valores de referência (ISO 717-1)

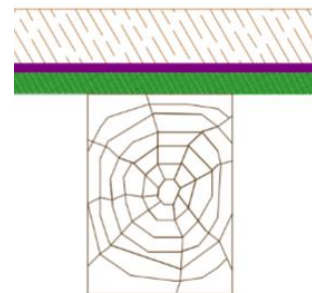
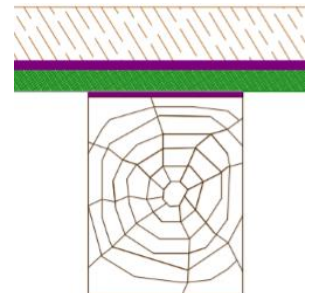
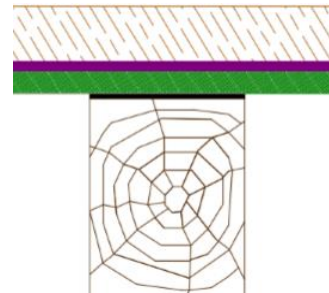
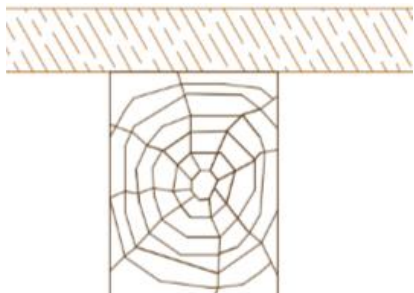
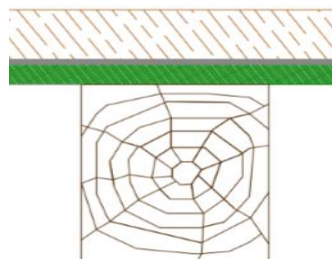
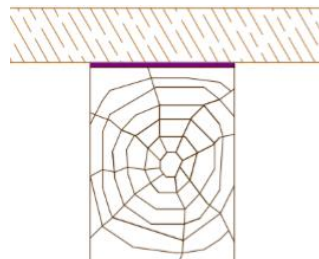
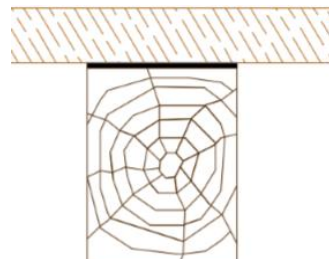

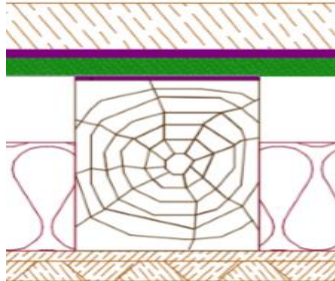
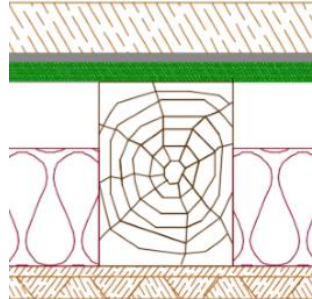
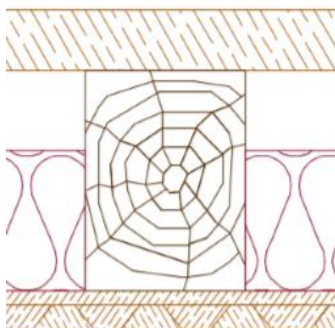
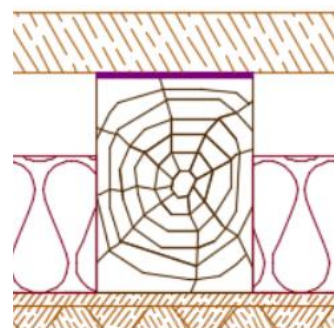
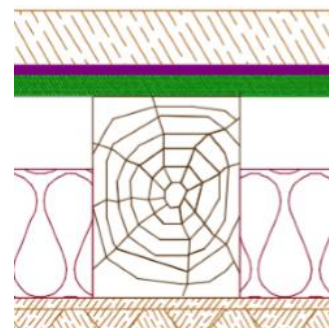
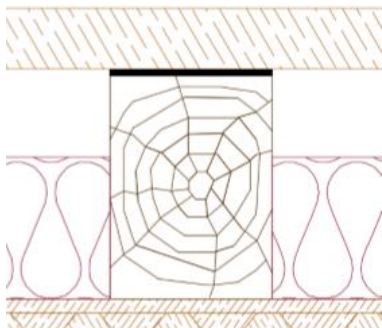


Índice segundo a ISO 717-1: $R_w (C; C_{tr}) = 49 (-2; -7) \text{ dB}$

Determinação baseada nas medições em laboratório, obtidas por meio do método de engenharia.

Anexo C – Planeamento dos Ensaaios Laboratoriais

Planeamento dos Ensaio Laboratoriais

Dia	6ª 13/05		2ª 16/05		3ª 17/05		4ª 18/05	
Manhã	E1		E3		E5		E7	
								
Tarde	E2		E4		E6		Ensaio de transmissão aérea e medição do teor de humidade relativa ao fim de 4h	
								
Dia	2ª 23/05				3ª 24/05		4ª 25/05	
Manhã	E8				E11		E15	
								
Tarde	E9		E10		E14		E13	
								

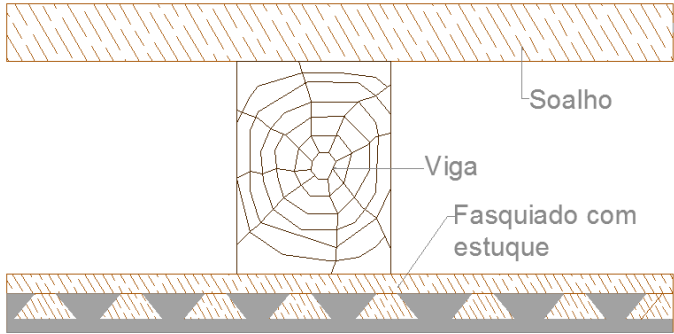
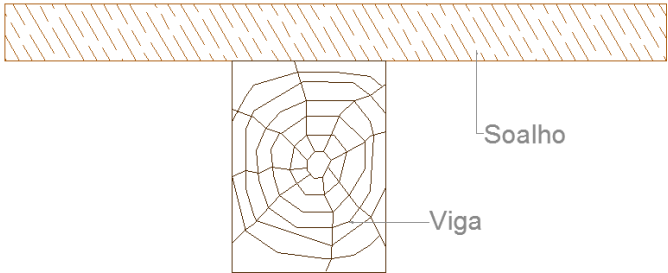
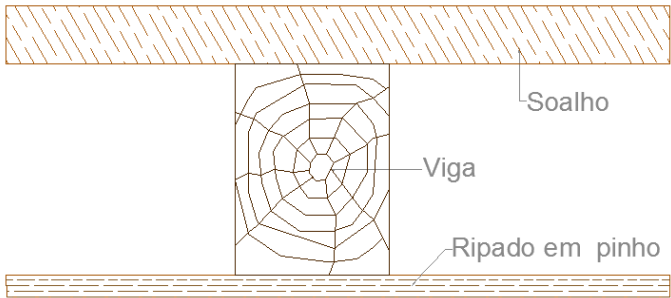
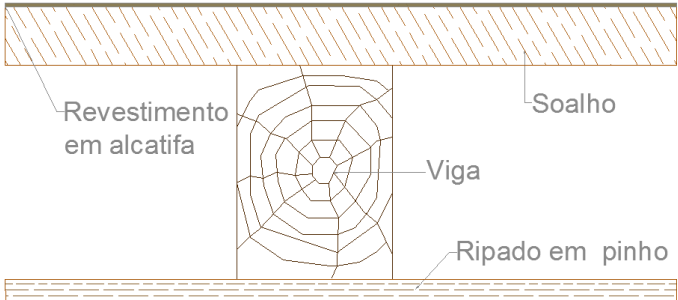
Legenda:


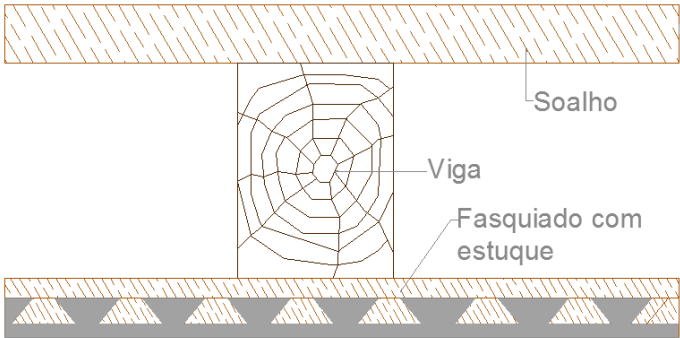
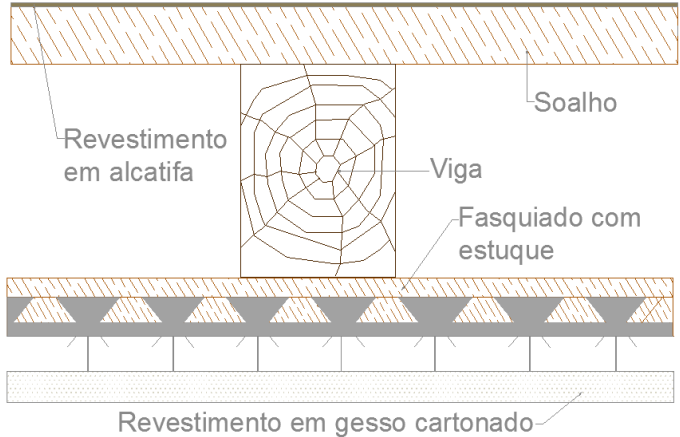
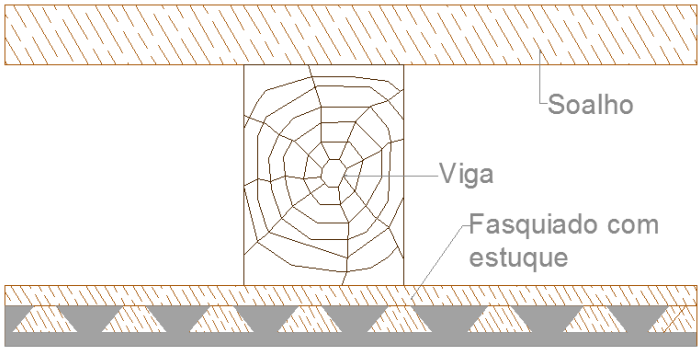
- Barrotes (viga): 8cm x 11cm espaçados de 50cm
- Soalho em pinho bravo: e = 3cm
- Fasquiado com estuque: e = 2cm
- Isolamento acústico (lã de rocha): e = 7cm
- Material resiliente densidade 200kg/m³: 8cm x 0,5cm
- Material resiliente densidade 650kg/m³: 8cm x 0,5cm
- Viroc: e=1,2cm

Nota: Todos as variantes de pavimentos em madeira que incluem Viroc na sua constituição não fazem parte do presente trabalho.

Anexo D – Gráfico Comparativo de Resultados

Tipologias construtivas encontradas *in situ*

Referência e Boletins de Ensaio	Pormenor Construtivo	Especificações [m]
Caso 1 Boletins 01 e 02		Soalho = 0.03 Vigas (espessura) = 0.35 Tarugos = 0.30 Fasquiado com estuque = 0.035
Casos 2 e 3 Boletins 07, 08, 09 e 10		Soalho = 0.02 Vigas (espessura) = 0.12 Tarugos = 0.12
Caso 4 Boletins 03 e 04		Soalho = 0.02 Vigas (espessura) = 0.12 Tarugos = 0.12 Ripado em pinho = 0.01
Caso 5 Boletins 05 e 06		Soalho = 0.02 Alcatifa = 0.005 Vigas (espessura) = 0.12 Tarugos = 0.12 Ripado em pinho = 0.01

Referência e Boletins de Ensaio	Pormenor Construtivo	Especificações [m]
Caso 6 Boletins 11 e 12		Soalho = 0.025 Alcatifa = 0.003 Vigas (espessura) = 0.25 Tarugos = 0.15 Ripado em pinho = 0.012
Caso 7 Boletins 13 e 14		Soalho = 0.03 Vigas (espessura) = 0.20 Tarugos = 0.15 Fasquiado com estuque = 0.04
Caso 8 Boletins 15 e 16		Soalho = 0.02 Alcatifa = 0.002 Vigas (espessura) = 0.15 Tarugos = 0.10 Fasquiado com estuque = 0.03 Gesso cartonado = 0.02
Caso 9 Boletins 17 e 18		Soalho = 0.02 Vigas (espessura) = 0.20 Tarugos = 0.10 Fasquiado com estuque = 0.035

Referência e Boletins de Ensaio	Pormenor Construtivo	Especificações [m]
<p>Caso 10 Boletins 19 e 20</p>	<p>Revestimento em alcatifa</p> <p>Soalho</p> <p>Viga</p> <p>Fasquiado com estuque</p> <p>Revestimento em painéis absorventes</p>	<p>Soalho = 0.025 Alcatifa = 0.002 Vigas (espessura) = 0.20 Tarugos = 0.15 Fasquiado com estuque = 0.04 Painéis absorventes = 0.045</p>

